



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO TÉCNICO
TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

TEMA
CÁLCULO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEDIMENTADOR HORIZONTAL
A NIVEL DE SIMULADOR ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS

AUTORES
JARETH ABIGAIL SALTOS MERA
ANIKA MARYELI ZAMBRANO QUIROZ

TUTOR
ING. XAVIER ENRIQUE ANCHUNDIA MUENTES Mg.

MANTA - ECUADOR
2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, Saltos Mera Jareth Abigail y Zambrano Quiroz Anika Maryeli, declaramos que el trabajo de titulación denominado "Cálculo, diseño y construcción de un sedimentador horizontal a nivel de simulador escala para el tratamiento de aguas residuales urbanas", es de nuestra autoría. El contenido desarrollado es original y no ha sido presentado previamente para la obtención de otro título académico. Las fuentes consultadas han sido citadas y referenciadas adecuadamente conforme a la normativa institucional vigente. Asumimos plena responsabilidad sobre el contenido, análisis, resultados y conclusiones expuestas en la presente investigación.

En constancia de lo expuesto, firmamos la presente declaración.


Saltos Mera Jareth Abigail
C.I: 131410123-7


Zambrano Quiroz Anika Maryeli
C.I: 135061245-1

CERTIFICACIÓN

 Uleam UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ	NOMBRE DEL DOCUMENTO:	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	CERTIFICADO DE TUTOR(A).	REVISIÓN: 1
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante SALTOS MERA JARETH ABIGAIL, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Ambiental, periodo académico 2025-2026, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto es "CÁLCULO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEDIMENTADOR HORIZONTAL A NIVEL DE SIMULADOR ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de enero de 2026.

Lo certifico,


Ing. Xavier Enrique Anchundia Muentes Mg.G.A.

Docente Tutor

Área: Ingeniería Ambiental

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante ZAMBRANO QUIROZ ANIKA MARYELI, legalmente matriculada en la carrera de Ingeniería Ambiental, período académico 2025-2026, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto es "CÁLCULO DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SEDIMENTADOR HORIZONTAL A NIVEL DE SIMULADOR ESCALA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de enero de 2026.

Lo certifico,

Ing. Xavier Enrique Anchundia Muentes Mg.G.A.

Docente Tutor

Área: Ingeniería Ambiental

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por guiarnos y darnos la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa importante de nuestra formación académica.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, comprensión y confianza a lo largo de todo este proceso.

A nuestros amigos, por el ánimo, la compañía y el respaldo brindado durante el desarrollo de este trabajo, convirtiéndose en un soporte valioso tanto en lo académico como en lo personal.

De manera especial expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestro tutor de tesis, Ing. Xavier Anchundia, por su orientación, conocimiento, disposición y acompañamiento constante, los cuales fueron clave para el desarrollo y culminación exitosa del presente trabajo.

Finalmente, nos agradecemos a nosotras mismas por el esfuerzo, la constancia, la dedicación y el compromiso demostrados a lo largo de este proceso, superando desafíos y creciendo tanto a nivel académico como personal.

Jareth Abigail Saltos Mera
Anika Maryeli Zambrano Quiroz

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a Dios, por guiarme y darme fortaleza en momentos difíciles, manteniendo mi fe y perseverancia.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por el amor y enseñanzas, que fueron pilares en mi camino hacia este logro.

A mis hermanos, por su comprensión y motivación constante.

Me dedico este logro a mí misma, por la constancia, el esfuerzo y la determinación para superar obstáculos y culminar esta meta profesional.

Finalmente, a mis amigas, por su apoyo y compañerismo, haciendo este camino más significativo.

Jareth Abigail Saltos Mera

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, quienes con su guía, amor y apoyo constante me acompañaron a lo largo de mi formación académica. A mis hermanos, que fueron un pilar fundamental para mantenerme firme y no desistir en los momentos difíciles. A mi hija Shanna, cuya dulzura e inocencia se convirtieron en mi mayor fuente de inspiración, motivándome cada día a seguir adelante y a ser para ella un ejemplo de perseverancia, entusiasmo y compromiso con el cumplimiento de mis metas.

Asimismo, dedico este logro las personas que amo y que formaron parte de este camino lleno de desafíos y aprendizajes, brindándome ánimo y fortaleza en cada etapa, y convirtiéndose en un sostén invaluable durante esta experiencia tan exigente.

Finalmente, me dedico este trabajo a mí misma: a la persona que fui, que soy y que seré, por haber tenido la valentía de continuar cuando todo parecía perdido, por mantenerme firme frente a los obstáculos y por afrontar con esfuerzo y sacrificio desvelos, risas, frustraciones y lágrimas. A quien supo levantarse en los momentos de desesperación y angustia, confiando en que cada sacrificio valdría la pena. Hoy celebro ese esfuerzo, y así, con gratitud y orgullo, cierro una etapa que me enseñó a creer en mí.

Anika Maryeli Zambrano Quiroz

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	2
CERTIFICACIÓN	3
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	12
RESUMEN	13
CAPITULO I	14
1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
CAPITULO II	19
2.1. MARCO TEÓRICO	19
2.1.1. Agua residual	19
2.1.2. Tratamiento de aguas residuales	19
2.1.2.1. Clasificación de tratamientos de aguas residuales	20
2.1.3. Sedimentación	20
2.1.3.1. Tipos de sedimentación	21
2.1.3.1.1. Sedimentación de partículas discretas	22
2.1.3.1.2. Sedimentación de partículas floculentas	22
2.1.4. Factores que afectan la sedimentación	23
2.1.5. Simulación a escala de sedimentadores horizontales	24
2.1.6. Diseño del sedimentador rectangular	25
2.1.7. Criterios de diseño	25

2.1.8. Compendio de metodologías para el diseño de sedimentadores de flujo horizontal	26
2.1.8.1. Volumen de sedimentación	27
CAPITULO III.....	28
3. METODOLOGÍA	28
3.1. Diseño metodológico	28
3.1.1. Tipo de investigación.....	28
3.2. Fase experimental.....	28
3.2.1. Caracterización granulométrica del sedimento.....	28
3.2.2. Determinación del peso específico relativo.....	29
3.2.3. Columnas de sedimentación	30
3.3. Curvas de sedimentación	32
3.2.1. Curva de sedimentación para concentración de 10 g/l	32
3.2.2. Curva de sedimentación para concentración de 15 g/l	34
3.2.3. Curva de sedimentación para concentración de 20 g/l	35
3.2.4. Curva de sedimentación para concentración de 25 g/l	37
3.3. Curva de flujo de sólidos por acción de la gravedad (SFg).....	38
3.4. Diseño de sedimentador horizontal	39
3.4.1. Dimensionamiento con una concentración de 10 g/l	40
3.4.1.1. Dimensionamiento exterior del proyecto	40
3.4.1.2. Diseño de pantalla difusora	42
3.4.2. Dimensionamiento con una concentración de 15 g/l	43
3.4.2.1. Dimensionamiento exterior del proyecto	43
3.4.2.2. Diseño de pantalla difusora	45
3.4.3. Dimensionamiento con una concentración de 20 g/l	47
3.4.3.1. Dimensionamiento exterior del proyecto	47
3.4.3.2. Diseño de pantalla difusora	49
3.4.4. Dimensionamiento con una concentración de 25 g/l	50

3.4.4.1. Dimensionamiento exterior del proyecto	50
3.4.4.2. Diseño de pantalla difusora	53
3.5. Ensayo gravimétrico para la determinación de sólidos totales	54
CAPITULO IV	56
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
4.1. Análisis del sedimento	56
4.1.1. Distribución granulométrica en los tamices	56
4.1.2. Análisis del peso específico relativo del sedimento	56
4.2. Análisis del proceso de sedimentación	57
4.2.1. Análisis de las curvas de sedimentación	57
4.3. Análisis de los parámetros hidráulicos del sedimentador	58
4.3.1. Análisis del tiempo de retención hidráulica	58
4.3.2. Análisis de la carga hidráulica sobre el vertedero de salida	59
4.4. Análisis de calidad de la muestra ensayada	60
4.4.1. Determinación de sólidos totales	60
CAPITULO V	62
5. DISCUSIÓN	62
CAPÍTULO VI	66
6.1. CONCLUSIONES	66
6.2. RECOMENDACIONES	68
Referencias	69
ANEXOS	71
ANEXO A	72
ANEXO B	73
ANEXO C	75
ANEXO D	76
ANEXO E	77

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	Sedimentador primario rectangular	14
FIGURA 2.	Curva de Sedimentación.....	22
FIGURA 3.	Curva Granulométrica	29
FIGURA 4.	Columnas de sedimentación.....	32
FIGURA 5.	Curva de sedimentación para 10 g/l.....	33
FIGURA 6.	Curva de sedimentación para 15 g/l.....	35
FIGURA 7.	Curva de sedimentación para 20 g/l.....	36
FIGURA 8.	Curva de sedimentación para 25 g/l.....	38
FIGURA 9.	Curva de flujo de sólidos.....	39
FIGURA 10.	Recolección de muestra, Comunidad Bajos del Pechiche	72
FIGURA 11.	Recolección de muestra 2.....	72
FIGURA 12.	Ensayo de columnas de sedimentación con diferentes concentraciones	73
FIGURA 13.	Ensayo culminado de columnas de sedimentación	73
FIGURA 14.	Proceso para determinación de peso específico	74
FIGURA 15.	Preparación para el ensayo	74
FIGURA 16.	Ensayo de granulometría	75
FIGURA 17.	Muestras retenidas en cada tamiz	75
FIGURA 18.	Planos del sedimentador	76
FIGURA 19.	Manual de uso y mantenimiento del sedimentador	77

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Resultados obtenidos para 10 g/l	33
TABLA 2. Resultados obtenidos para 15 g/l	34
TABLA 3. Resultados obtenidos para 20 g/l	36
TABLA 4. Resultados obtenidos para 25 g/l	37
TABLA 5. Valores de SFg.....	39
TABLA 6. Distribución granulométrica del sedimento analizado	56
TABLA 7. Velocidades de sedimentación en comparación con los rangos de diseño.....	58
TABLA 8. Tiempo de retención en comparación con los rangos de diseño	59
TABLA 9. Carga hidráulica en comparación con los rangos de diseño establecidos	60

RESUMEN

La presente tesis fue elaborada con la finalidad de calcular, diseñar y construir un sedimentador horizontal a escala piloto destinado al tratamiento de aguas residuales urbanas que sirva como herramienta educativa para el ámbito académico. Este trabajo surge de la necesidad de mejorar la formación práctica de los estudiantes de Ingeniería Ambiental, facilitándoles la comprensión directa del funcionamiento de los procesos de sedimentación aplicados en sistemas reales de tratamiento de aguas.

Este trabajo se llevó a cabo utilizando un enfoque experimental y cuantitativo, el cual abarco la caracterización física del sedimento mediante distintos análisis, además de realizaron ensayos con distintas concentraciones de solidos lo cual permitió generar curvas de sedimentación y estimar velocidades de caídas representativas del comportamiento del material en condiciones controladas de laboratorio.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos se llevó a cabo el cálculo, diseño y construcción del sedimentador horizontal a escala, teniendo en cuenta los criterios técnicos establecidos. Mediante los resultados mostrados se logra deducir que el prototipo construido puede reproducir de manera confiable y eficaz el proceso de sedimentación en un contexto de interés académico, facilitando el análisis del comportamiento del flujo y la eliminación de solidos sedimentables.

Finalmente, el sedimentador horizontal a escala se establece como una herramienta valiosa para la enseñanza, la experimentación y la validación de conceptos relacionados al tratamiento de aguas residuales urbanas contribuyendo de esta manera al fortalecimiento de las prácticas en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Ambiental.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de sedimentación es una de las operaciones unitarias más antiguas que se conocen de las empleadas en el tratamiento de aguas residuales ya sean urbanas o industriales, así como una de las más utilizadas en la actualidad, siendo un proceso netamente físico de eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua, son separadas por la acción exclusiva de la gravedad (Fernández, 2016).

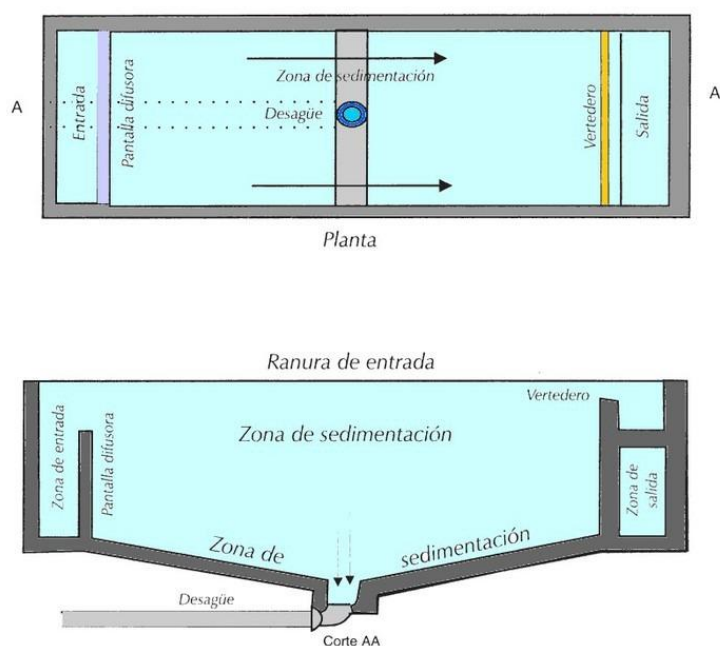


FIGURA 1. Sedimentador primario rectangular

Fuente: OzonIQ, 2017.

El presente documento se basa en el cálculo, diseño y construcción de un prototipo de sedimentador horizontal a escala piloto destinado a su uso académico.

Para la ejecución experimental del proyecto se recolectó muestras de agua provenientes de la comuna Bajos del Pechiche con el objetivo de evaluar el desempeño del sedimentador bajo diferentes condiciones de concentración de sólidos.

1.2. ANTECEDENTES

El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante sedimentadores horizontales ha sido objeto de diversos estudios a nivel internacional y nacional. Estos trabajos han contribuido significativamente al diseño, construcción y evaluación de sistemas eficientes para la remoción de sólidos suspendidos.

En Cuba, Ortega (2016), realizó un estudio titulado “*Estudio hidrodinámico de los parámetros de diseño en sedimentadores de flujo horizontal empleados en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales*”, su investigación se basó en la evaluación del comportamiento del flujo dentro de los sedimentadores rectangulares, empleando como herramienta fundamental una modelación numérica. Lo cual hace que este aporte sea relevante para el presente proyecto, ya que proporciona criterios técnicos que respaldan el dimensionamiento hidráulico del sedimentador horizontal a escala.

Por otro lado, en Ecuador, Chávez *et al.* (2018) abordaron el diseño y construcción de un sedimentador rectangular a escala piloto, con fines experimentales y académicos. Este estudio combinó ensayos de sedimentación mediante la adaptación de parámetros de diseño a lo que corresponde a las condiciones físicas del laboratorio, lo que evidenció las restricciones prácticas asociadas al espacio y a las muestras de agua para el ensayo. Este antecedente aporta significativamente al presente trabajo puesto que aporta una referencia metodológica fundamental para tener en cuenta en cuanto a la construcción de prototipo de un sedimentador a escala, especialmente en el contexto académico y educativo.

De manera complementaria, Larriva *et al.* (2019), elaboraron un modelo físico y una guía metodológica para el ensayo de aguas residuales mediante pruebas de sedimentación. El objetivo fue desarrollar un modelo físico y una guía para la práctica de sedimentación en la asignatura de Hidrosanitaria. Esta metodología propuesta se basa en la construcción de un modelo físico, en el desarrollo de una guía metodológica y en la validación de datos obtenidos, lo cual permite a los estudiantes adquirir conocimientos y destrezas que permitan la comprensión del funcionamiento de un sedimentador.

Estos antecedentes constituyen una guía fundamental para llevar a cabo el presente trabajo y el diseño y construcción de un sedimentador horizontal a escala piloto con fines académicos, orientándose al tratamiento de aguas residuales urbanas como también a la práctica de los estudiantes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí con muestras de aguas residuales urbanas. Dichos estudios fueron adaptados a las condiciones específicas del medio, lo que permitió desarrollar un proceso de análisis acorde con la realidad local y sustentar la modelación considerando las diferentes características presentes en los procesos de tratamiento evaluados.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión adecuada de las aguas residuales es fundamental para proteger la calidad de los cuerpos de agua, preservar los ecosistemas y prevenir riesgos para la salud pública, especialmente en zonas urbanas donde la carga contaminante es elevada Peña *et al.* (2018). Dentro de estos procesos, la sedimentación cumple un rol fundamental como etapa primaria, al permitir la remoción de sólidos sedimentables, grasas, aceites y una parte de la materia orgánica presente en el agua, la eficiencia de este proceso muestra que tan rentable es en cuanto a etapas biológicas posteriores (Metcalf *et al.* 1995).

Por otra parte, en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en la carrera de Ingeniería Ambiental, surge la necesidad de crear una herramienta didáctica para que los estudiantes puedan integrar los conocimientos teóricos con la práctica, por esta razón, resulta fundamental que en los laboratorios se cuente con medios y herramientas adecuadas para aplicar procedimientos tanto de análisis relacionados al tratamiento de aguas residuales como también los procesos de sedimentación.

La incorporación de prototipos a escala con características específicas de operación permitiría replicar condiciones controladas de laboratorio y realizar pruebas consecutivas que faciliten la observación y evaluación precisa de los resultados. En este sentido, se propone la construcción de un sedimentador horizontal a escala como parte de un conjunto de tecnologías que la carrera busca incorporar, con el objetivo de crear un laboratorio de características adecuadas que permita el desarrollo integral de competencias prácticas.

Este espacio permitirá a los estudiantes aplicar tecnologías de tratamiento, comparar su eficacia mediante análisis estadísticos y evaluar, de forma directa, los resultados obtenidos frente a los fundamentos teóricos abordados en clase. Así, se fortalecerá su proceso de aprendizaje mediante la experimentación y la interpretación de datos reales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un sedimentador horizontal a escala piloto que sirva como simulador educativo en procesos de tratamiento de aguas residuales urbanas.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros teóricos necesarios para el cálculo y diseño de un sedimentador horizontal a escala piloto.
- Diseñar teóricamente alternativas que permitan seleccionar el modelo más adecuado para su construcción.
- Construir el modelo a escala piloto del sedimentador horizontal seleccionado.
- Elaborar el manual de uso, operación y mantenimiento del sedimentador horizontal a escala piloto, estableciendo los procedimientos adecuados para su uso seguro y eficiente.

CAPITULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Agua residual

Según Troconis (2010), el agua residual es aquella que ha sido utilizada en diversas actividades humanas, y que, como consecuencia, se ha visto alterada por la alta cantidad de contaminantes físicos, químicos y biológicos que presenta. Este tipo de agua proviene principalmente de descargas de uso doméstico, comercial, institucional e industrial. A diferencia del agua natural, el agua residual contiene sólidos en suspensión, materia orgánica, grasas, aceites, nutrientes y microorganismos, los cuales pueden generar impactos negativos en el ambiente y en la salud humana sino reciben un tratamiento adecuado antes de su disposición final. Por esto, el manejo y tratamiento de las aguas residuales constituye una etapa fundamental para la protección de los cuerpos de agua, la conservación de los ecosistemas y el bienestar de la población.

2.1.2. Tratamiento de aguas residuales

Al igual que en la potabilización, la depuración del agua incluye procesos destinados a mejorar su calidad antes de devolverla a los cuerpos naturales. Estos procesos comprenden tratamientos primarios, que eliminan sólidos de gran tamaño, grasas y aceites que podrían afectar el funcionamiento continuo de la estación. Posteriormente, el tratamiento secundario se da para la remoción de sustancias sólidas de menor tamaño, finalmente, este proceso concluye con el tratamiento terciario en donde se empieza el proceso de filtración para poder eliminar partículas diminutas (Garrido, 2018).

Es importante llevar a cabo un buen proceso sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, ya que, de esta manera se reduce en ciertos niveles la contaminación de cuerpos hídricos como también ayuda a minimizar los impactos a la salud humana. Si bien es cierto, las plantas de tratamiento constan de diversas etapas, siendo la sedimentación una de las etapas más importantes para el proceso de remoción de los sólidos que se encuentran en suspensión. El objetivo de los sedimentadores es permitir que las partículas más densas que el agua se depositen por acción de la gravedad.

2.1.2.1. Clasificación de tratamientos de aguas residuales

En el tratamiento de las aguas residuales se incluyen diversas técnicas, procesos y métodos que han sido diseñados para eliminar los sólidos o contaminantes presentes en las aguas residuales, a continuación, se presenta una de las clasificaciones más empleadas según (Oñate, 2018).

- **Tratamiento preliminar:** Permite eliminar partículas gruesas o material de gran tamaño que podría ocasionar daños al tratamiento y funcionamiento de la planta de tratamiento.
- **Tratamiento primario:** Elimina productos orgánicos e inorgánicos sedimentables y materiales en suspensión del agua residual.
- **Tratamiento secundario:** Elimina y degrada cargas orgánicas disueltas y sólidos suspendidos presentes en el agua residual mediante procesos biológicos.
- **Tratamiento terciario:** Este proceso se emplea cuando se debe eliminar componentes específicos del agua residual que en procesos anteriores no se ha podido degradar, es decir, material recalcitrante.

2.1.3. Sedimentación

Según Romero (2020), la sedimentación es la operación mediante la cual son removidas las partículas sólidas en estado de suspensión mediante la fuerza de gravedad; puede denominarse también clarificación o espesamiento. Históricamente, ha sido y continúa siendo el método más común utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas dulces y aguas residuales (Ferrer *et al.* 2007).

El proceso de sedimentación es un fenómeno físico cuya función principal es clarificar el agua, y se aplica tanto en plantas de tratamiento de agua potable como en plantas de tratamiento de aguas residuales (Yactayo, 2004).

Existen dos formas principales de sedimentación empleadas en la purificación del agua: la sedimentación primaria, que ocurre antes del tratamiento convencional, y la sedimentación secundaria, que se realiza después de la coagulación, floculación o ablandamiento (Romero, 2020).

La eficiencia del proceso depende de características específicas de las partículas, como su forma y peso. Una partícula más pesada caerá más rápidamente por efecto de la gravedad que una más liviana. En función de estas características, se puede clasificar la sedimentación en tres tipos: de partículas discretas, floculentas y por caída libre interferida (Arboleda, 2000).

Finalmente, cuando la sedimentación se aplica como tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación, se conoce como pre-sedimentación (Romero, 2020).

2.1.3.1. Tipos de sedimentación

La sedimentación ocurre de distintas maneras, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. En el agua pueden encontrarse partículas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso durante la sedimentación; este proceso se conoce como Sedimentación Tipo I (Romero, 2020).

Por otro lado, existen partículas floculantes o precipitantes cuya densidad y volumen varían a medida que se agrupan mediante procesos como la floculación, precipitación, arrastre o barrido. Este tipo de comportamiento corresponde a la Sedimentación Tipo II (Romero, 2020).

La Sedimentación Tipo I se considera un proceso primario que ocurre antes del tratamiento convencional, con el objetivo de reducir la carga de sólidos sedimentables previos a la coagulación (Romero, 2020).

En cambio, la Sedimentación Tipo II tiene lugar después de la adición de coagulantes y la floculación. Se utiliza para eliminar los sólidos generados durante el tratamiento químico, como en los procesos de remoción de color, turbiedad o ablandamiento con cal, formando parte del tratamiento convencional (Romero, 2020).

La coexistencia de diferentes tipos de partículas en variadas concentraciones hace necesario considerar distintos tipos de sedimentación, adaptados a cada caso específico (Romero, 2020).

El proceso de la sedimentación se muestra en la figura 2. En este proceso las partículas suspendidas descienden bajo condiciones de reposo relativo y comprenden cuatro etapas, las cuales pueden desarrollarse de forma simultánea o independiente.

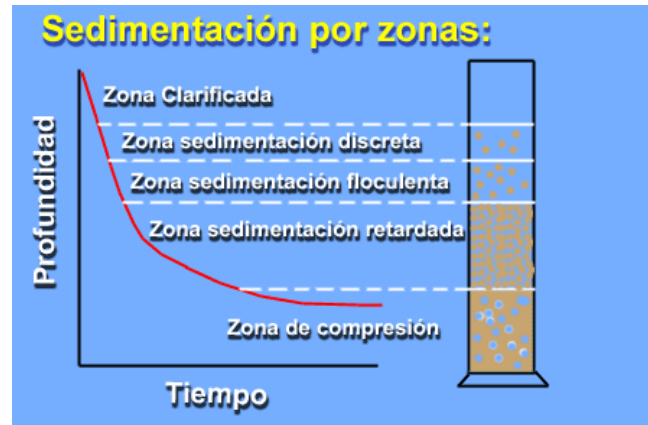


FIGURA 2. Curva de Sedimentación.

Fuente: Universidad de Salamanca, (s.f).

La inclinación de la curva indica la velocidad a la que sedimentan las partículas en ese punto. Con este valor es posible definir los parámetros necesarios para diseñar el sedimentador, utilizando como base la muestra de lodo seco que se empleará en el presente proyecto.

Las partículas que se encuentran en suspensión se pueden sedimentar de diferentes formas dependiendo de sus características. De este modo se puede hacer referencia a la sedimentación de partículas discretas, floculentas y por caída libre e interferida.

2.1.3.1.1. Sedimentación de partículas discretas

Son todas aquellas partículas que no cambian su forma, tamaño o densidad durante su trayecto de caída. Este proceso se conoce también como sedimentación simple, y puede presentarse en desarenadores, sedimentadores y en presedimentadores, como fase previa a la coagulación en plantas de filtración rápida y también como paso previo a la filtración lenta (Yactayo, 2004).

2.1.3.1.2. Sedimentación de partículas floculentas

Las partículas floculentas se generan cuando las partículas coloidales, previamente desestabilizadas mediante la adición de agentes químicos, se agrupan formando flóculos. A diferencia de las partículas individuales, las propiedades de estas

partículas como su forma, tamaño y densidad varían durante su descenso en el líquido.

El proceso mediante el cual estas partículas se depositan se conoce como sedimentación o decantación floculenta. Este tipo de sedimentación es característico de la clarificación de aguas y funciona como etapa intermedia entre los procesos de coagulación-floculación y la filtración rápida (Yactayo, 2004).

Sedimentación por caída libre e interferida

Cuando el agua contiene una concentración baja de partículas, estas se asientan de manera individual sin que interactúen entre sí; a este fenómeno se le conoce como caída libre. Por el contrario, en situaciones donde la concentración de partículas es elevada, se producen colisiones entre ellas, lo que genera un asentamiento masivo en lugar de uno individual, fenómeno denominado sedimentación interferida o zonal. Cuando las partículas en contacto forman una masa densa que limita la consolidación adicional, se origina una zona de compresión. Este tipo de sedimentación es común en los concentradores de lodos de las unidades de decantación (Yactayo, 2004).

2.1.4. Factores que afectan la sedimentación

El proceso de sedimentación depende de diversos factores físicos, químicos e hidráulicos que determinan la eficiencia de la separación sólido – líquido. Entre ellos, el tamaño, forma y densidad de las partículas resultan determinantes, ya que partículas grandes y densas se asientan con mayor rapidez que las finas o con formas irregulares (LibreTexts, 2022).

En este proceso de sedimentación resalta uno de los aspectos importantes, que es la concentración y la carga de partículas. Por otra parte, se menciona que altas concentraciones pueden llegar a impedir el proceso de sedimentación esto se debe a la interferencia entre partículas, mientras que la formación de flóculos puede llegar a mejorar este proceso (LibreTexts, 2020). También existen otros factores limitantes que pueden intervenir en la eficiencia del proceso como lo es la turbulencia y el flujo hidráulico, ya que, si existen corrientes internas o velocidades excesivas, estas pueden llegar a reducir la eficacia del tanque, aunque también dependa del diseño y disposición (Wastewater, 2024).

Finalmente, la composición química del medio, como la presencia de materia orgánica o sustancias disueltas, modifica la densidad y la carga superficial de las partículas, lo cual puede inhibir o favorecer la coagulación y posterior sedimentación. En este sentido, la aplicación de coagulantes y floculantes constituye una práctica habitual para mejorar la eficiencia (Li *et al.* 2024).

2.1.5. Simulación a escala de sedimentadores horizontales

Una de las herramientas importantes para evaluar y comprender el comportamiento hidráulico y la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos de un sistema de tratamiento de aguas residuales es mediante la simulación a escala en un sedimentador horizontal, mediante esta herramienta es permitido reproducir en condiciones de laboratorio, los procesos físicos que ocurren a escala real proporcionando datos significativos para la optimización, operación y sobre todo al diseño de este sistema a una escala industrial.

Garrido (2018), menciona que al diseñar un modelo a escala es importante considerar criterios de similitud geométrica, dinámica y cinemática, similitud geométrica ya que esta proporciona medidas equivalentes a un prototipo real, dinámica porque esta nos ayuda a asegurar que el comportamiento sea el mismo, y por último la cinemática que asegura trayectorias y velocidades del flujo para que estas sean representativas del comportamiento real del agua en el sedimentador.

Para obtener una representación casi parecida a un sedimentador horizontal real, el modelo a escala debe considerar dispositivos que permitan medir variables, tales como el caudal de entrada, el tiempo de retención hidráulica, velocidad de sedimentación, y así mismo medir la concentración de sólidos que se encuentren suspendidos tanto en el afluente como en el efluente.

Además, el modelo también nos permitirá observar de manera visual el comportamiento del flujo del agua y zonas muertas, también nos permitirá visualizar fenómenos que afecten la eficiencia durante el proceso. Dichos estudios permiten realizar ajustes en el diseño, como la incorporación de deflectores o alguna que otra modificación en el ángulo de entrada o en lo que corresponde a la distribución del flujo.

Garrido (2018), en su trabajo diseño y construyó un sedimentador horizontal a escala, mediante la utilización de materiales como acrílico transparente, ya que esto le permitirá facilitar la observación directa e interna del flujo y los comportamientos durante la práctica. Las pruebas experimentales realizadas permitieron determinar la eficiencia de remoción bajo distintas condiciones de operación, demostrando que este tipo de simulaciones es altamente útil para predecir el desempeño de una planta en condiciones reales y validar criterios de diseño.

2.1.6. Diseño del sedimentador rectangular

El diseño de un sedimentador rectangular se organiza en cuatro zonas distintas, cada una cumple con una función en específico durante la fase de operación del sistema. La primera, zona de entrada, es el área cuyo objetivo es amortiguar la energía del agua que llega para asegurar que el flujo avance con velocidad y dirección uniformes dentro del tanque.

Luego, la zona de sedimentación, siendo la parte fundamental del proceso, consiste en una cámara con volumen y condiciones de flujo adecuadas donde las partículas pueden asentarse sin interferencias provenientes de otras partes del sistema.

Posteriormente, la zona de salida, la cual garantiza una transición suave de la muestra de agua que ha sido clarificada hacia el exterior del tanque, evitando perturbar la sedimentación de los sólidos. Finalmente, la zona de lodos, donde se concentra el material que ha sido sedimentado para poder ser drenado mediante tuberías u otros sistemas mecánicos (OPS, 2005).

2.1.7. Criterios de diseño

Para el diseño del sedimentador rectangular propuesto en este proyecto, se consideran los lineamientos técnicos establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (2005), los cuales proporcionan criterios hidráulicos y estructurales, fundamentales para garantizar una sedimentación eficiente. Estos criterios orientan aspectos como:

- 1. Velocidad horizontal del flujo:** Se recomienda mantener una velocidad uniforme y baja, generalmente entre 0.3 y 0.5 m/min, para que no haya remoción de partículas sedimentadas.

2. **Tiempo de retención hidráulico (TRH):** Oscila entre 1.5 y 3 horas dependiendo de la carga de sólidos y el tipo de tratamiento previo.
3. **Relación longitud/ancho:** Se sugiere una proporción de 3:1 a 5:1, ya que facilita un flujo laminar y minimiza turbulencias.
4. **Altura útil o profundidad:** Generalmente varía entre 1.5 y 2.5 metros, lo que permite una adecuada sedimentación sin generar cortocircuitos hidráulicos.
5. La base del sedimentador debe contar con una pendiente de 5 a 10% hacia una tubería o salida facilitando su deslizamiento hacia el fondo.
6. La velocidad del agua entre los orificios diseñados no debe ser superior a 0.15 metros/segundos, para evitar alteraciones en la sedimentación.
7. La carga hidráulica en el vertedero de salida debe mantenerse igual o por debajo de 3 litros sobre segundo por metro, para evitar turbulencias en la sedimentación.
8. Se recomienda el proceso de extracción de lodos al menos del primer tercio del tanque, ya que aproximadamente el 80% del material sedimentado será depositado en dicha zona.
9. Los orificios del flujo deben diseñarse con un ángulo aproximado de 15° para que así el flujo aproveche la corriente y esta pueda salir sin interferencias de turbulencias.
10. La distancia de la pantalla difusora con respecto a la pared de ingreso debe encontrarse entre 0,7 y 1.0 metros, para que esto permita reducir las turbulencias en cuanto al ingreso del flujo del agua.
11. Los orificios superiores de la pantalla deben ubicarse a una altura equivalente a $\frac{1}{5}$ o $\frac{1}{6}$ de la altura total (H) desde la superficie del agua, mientras que los orificios inferiores se disponen a $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{5}$ de altura desde el fondo del tanque.

2.1.8. Compendio de metodologías para el diseño de sedimentadores de flujo horizontal

El diseño de sedimentadores de flujo horizontal se sustenta mediante un compendio de metodologías que integran criterios hidráulicos, geométricos y operativos con el fin de garantizar una adecuada remoción de sólidos suspendidos por acción de la gravedad. Estas metodologías aplicadas consideran, como base fundamental, el análisis del caudal del diseño, la carga superficial, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad horizontal del flujo, parámetros que permiten asegurar condiciones de

flujo uniforme y minimizar la generación de turbulencias dentro del tanque (Schrei, 2017).

La aplicación de estas metodologías permite adaptar el diseño del sedimentador a las características específicas del agua residual, optimizando su desempeño tanto en sistemas a escala real como en modelos pilotos o simuladores didácticos empleados con fines académicos.

Es por esto, que se enfatiza la importancia de las relaciones geométricas entre longitud, ancho y profundidad, ya que estas influyen directamente en la eficiencia del proceso y en la prevención de cortocircuitos hidráulicos.

2.1.8.1. Volumen de sedimentación

Diversos estudios han evidenciado que, en los sedimentadores de flujo horizontal, la profundidad del tanque no constituye un factor determinante en la eficiencia del proceso de sedimentación, situación que también se presenta en los sedimentadores de flujo vertical (OPS, 2005).

En este sentido, la selección de la profundidad debe basarse principalmente en la experiencia del proyectista, considerando aspectos operativos como la capacidad de almacenamiento y concentración de lodos, así como la necesidad de evitar su re-suspensión, la cual puede generarse por velocidades horizontales excesivas en tanques poco profundos o por efectos de succión en las zonas de salida.

No obstante, tampoco resulta conveniente diseñar sedimentadores con grandes profundidades, ya que esto puede ocasionar tiempos prolongados de retención de lodos, favoreciendo de tal manera la aparición de condiciones sépticas y la formación de corrientes internas asociadas a diferencias de densidad. Dado que los sólidos presentes en las agua residuales poseen un comportamiento floculento, podría considerarse que una mayor profundidad incrementa la probabilidad de contacto entre partículas durante su descenso; sin embargo, para un volumen constante, un aumento de la profundidad implica una reducción del área superficial disponible, lo que puede limitar el proceso y puede incrementar la carga superficial, afectando negativamente la eficiencia de la sedimentación si se superan ciertos valores admisibles (OPS, 2005).

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque experimental y cuantitativo, con el propósito de cumplir con los objetivos propuestos, mediante la aplicación de un esquema metodológico que permitió la recopilación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos para el dimensionamiento de un sedimentador horizontal a escala, así como para la validación funcional de su diseño bajo condiciones controladas de operación.

El diseño metodológico que integra el presente trabajo es en base a componentes teóricos, prácticos y técnicos que permitieron analizar el proceso de sedimentación desde los procesos hidráulicos y operacionales, además de evaluar el comportamiento de estos mediante un prototipo didáctico que simula una unidad de tratamiento de aguas residuales urbanas a escala reducida.

Dicho diseño considero la construcción y el funcionamiento del prototipo a escala, sobre el cual se realizaron pruebas bajo distintas condiciones de operación, permitiendo obtener datos cuantificables para llevar a cabo el cálculo y posterior el diseño de dicho prototipo. Con base en estos resultados se evaluó el desempeño del sistema y se verifico su funcionalidad en función de parámetros establecidos.

3.2. Fase experimental

3.2.1. Caracterización granulométrica del sedimento

Se realizó la caracterización granulométrica del sedimento mediante un análisis granulométrico por tamizado, con el objetivo de determinar la distribución del tamaño de las partículas que conforman la muestra y facilitar su clasificación física. Para este procedimiento se utilizaron cuatro tamices, colocados de manera decreciente en cuanto a su nivel de abertura, esto permitió la retención del material de diferentes tamaños en cada uno de los tamices.

Previamente la muestra fue sometida a un proceso de agitación controlada, para obtener resultados óptimos y favorables asegurando una adecuada distribución por el paso de los tamices. Para obtener esta retención del material se emplearon los tamices cuyos tamaños específicos de abertura fueron de 250, 180, 150 y 75 micrómetros, los cuales permitieron evaluar el tamaño de partículas predominantes en las muestras empleadas

Posteriormente, se determinó el peso del material retenido en cada tamiz, calculándose el porcentaje retenido y el porcentaje pasante, lo que permitió identificar las fracciones granulométricas predominantes y su contribución relativa en peso. Los resultados obtenidos constituyeron un componente fundamental para la caracterización física del sedimento y para el análisis de su comportamiento dentro del proceso de sedimentación evaluado.

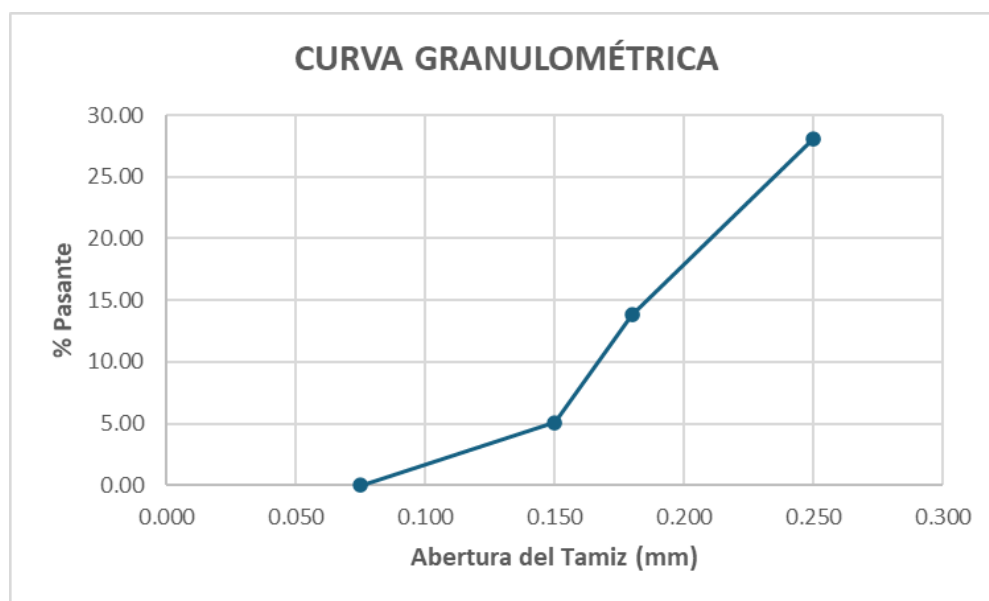


FIGURA 3. Curva Granulométrica

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

3.2.2. Determinación del peso específico relativo

Además del análisis granulométrico, se realizó la determinación de peso específico relativo del sedimento a partir de una muestra previamente homogeneizada, con el objetivo de evaluar la viabilidad del proceso de sedimentación por gravedad, considerando la relación entre la densidad de las partículas sólidas y la del fluido.

El ensayo se realizó en laboratorio mediante un método gravimétrico, empleando:

- Matraces calibrados
- Cisoles
- Pipetas
- Termómetro
- Alcohol
- Embudo
- Charola de aluminio
- Vaso de precipitado
- Bomba de vacío
- Horno de secado
- Estufa

El peso específico relativo (S_s) del sedimento se determinó mediante la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s - W_{fws}}$$

Donde:

S_s : Peso específico relativo

W_s : Corresponde al peso seco del sedimento (g)

W_{fw} : Peso del matraz + agua (g)

W_{fws} : Peso del matraz + agua + sedimento (g)

3.2.3. Columnas de sedimentación

El ensayo de columnas de sedimentación se llevó a cabo con el objetivo de analizar el comportamiento del material en suspensión bajo distintas concentraciones de lodo, evaluando la evolución del proceso de sedimentación en función del tiempo. Para ello, se trabajó con una muestra aleatoria de lodo recolectada en diferentes puntos del sedimentador de ingreso del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comuna Bajos del Pechiche del Cantón Montecristi, el cual está conformado por un tanque de tratamiento anaerobio tipo IMHOFF y un campo de infiltración.

La muestra recolectada fue preservada y posteriormente mezclada antes de la ejecución de los ensayos, con el fin de garantizar su homogeneidad y representatividad. Cabe señalar que los sedimentos analizados son característicos

de la calidad de aguas residuales domesticas generadas en esta comunidad especifica; sin embargo, presentan propiedades similares a las reportadas para sedimentos de origen domestico en comunidades pequeñas, conforme estudios previos utilizados como base para la normativa de diseño de sistema de tratamiento.

Para el desarrollo del ensayo el agua recolectada fue introducida en probetas de sedimentación con capacidad de un litro, preparándose diferentes concentraciones de lodo seco disueltas individualmente en un litro de agua potable dichas concentraciones correspondientes a:

- 10 g
- 15 g
- 20 g
- 25 g

Cada muestra fue sometida a agitación manual, asegurando una adecuada dispersión y homogeneización del material sólido antes del inicio del registro de datos.

La evaluación del proceso de sedimentación se realizó mediante la observación y medición de la altura de la interfase sólido – líquido, registrándose los datos en intervalos de tiempo previamente establecidos y uniformes para todas las concentraciones correspondientes a:

- 0 min
- 1 min
- 2 min
- 5 min
- 10 min
- 15 min
- 30 min
- 45 min
- 60 min
- 120 min
- 180 min
- 240 min
- 300 min

- 360 min
- 420 min

Los datos obtenidos permitieron analizar la dinámica de sedimentación de lodo bajo diferentes cargas sólidas y sirvió como base para la interpretación del comportamiento del material en el diseño del sedimentador horizontal a escala.

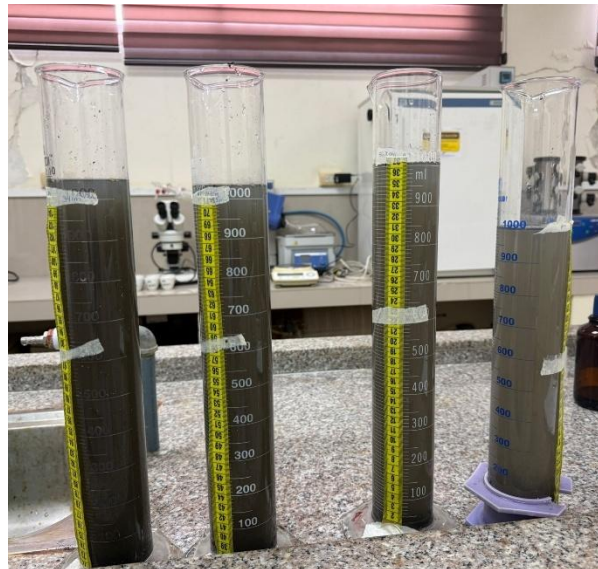


FIGURA 4. Columnas de sedimentación

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

3.3. Curvas de sedimentación

Con los datos registrados en las columnas de sedimentación, se elaboró una curva en la que el eje vertical corresponde a la altura de interfase (m) y el eje horizontal al tiempo de sedimentación (min). El análisis de dichas curvas permitió estimar la velocidad de sedimentación para cada una de las concentraciones evaluadas, cuyos resultados se presentan a continuación.

3.2.1. Curva de sedimentación para concentración de 10 g/l

Se presentan a continuación los resultados obtenidos, así como la curva y la velocidad de sedimentación correspondiente.

TABLA 1. Resultados obtenidos para 10 g/l

TABLA DE DATOS	
t (min)	h (m)
0	0.35
1	0.33
2	0.32
5	0.31
10	0.31
15	0.31
30	0.31
45	0.30
60	0.30
120	0.28
180	0.27
240	0.26
300	0.24
360	0.22
420	0.20

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

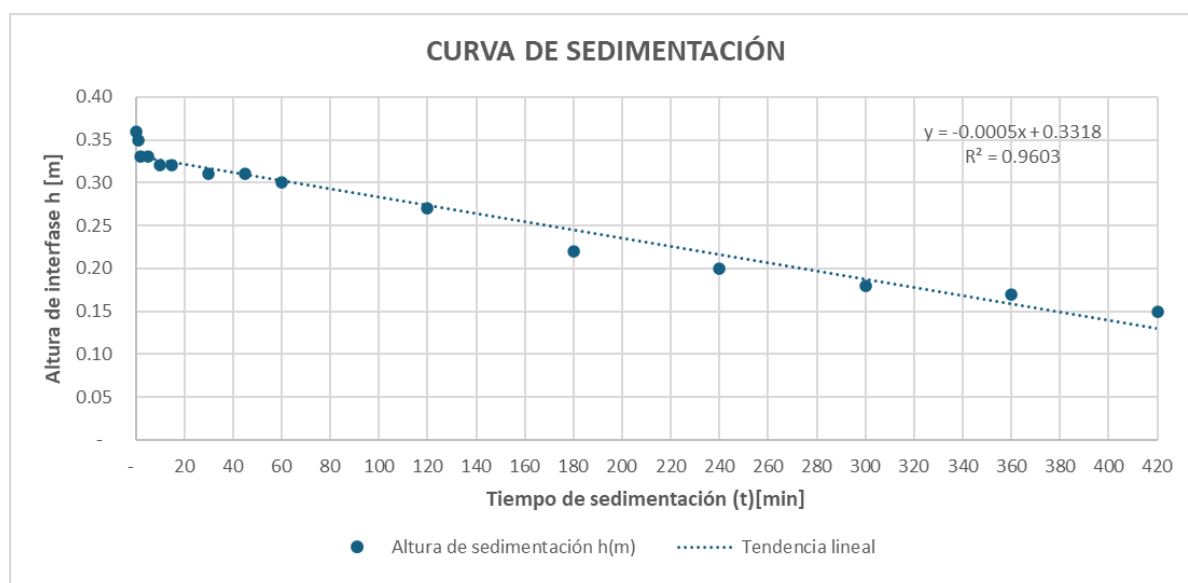


FIGURA 5. Curva de sedimentación para 10 g/l.

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Se seleccionó únicamente el tramo lineal de la curva de sedimentación y se ajustó una línea de tendencia. Mediante la ecuación de la recta, $y = mx + b$, se obtuvo la velocidad de sedimentación, considerando que la pendiente representa dicho parámetro ($m = V_s$).

$$V_s = 0.0005 \frac{m}{min}$$

$$V_s = 0.0000083 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 0.030 \frac{m}{h}$$

3.2.2. Curva de sedimentación para concentración de 15 g/l

Se presentan a continuación los resultados obtenidos, así como la curva y la velocidad de sedimentación correspondiente.

TABLA 2. Resultados obtenidos para 15 g/l

TABLA DE DATOS	
t (min)	h (m)
0	0.35
1	0.33
2	0.32
5	0.31
10	0.31
15	0.31
30	0.31
45	0.30
60	0.30
120	0.28
180	0.27
240	0.26
300	0.24
360	0.22
420	0.20

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

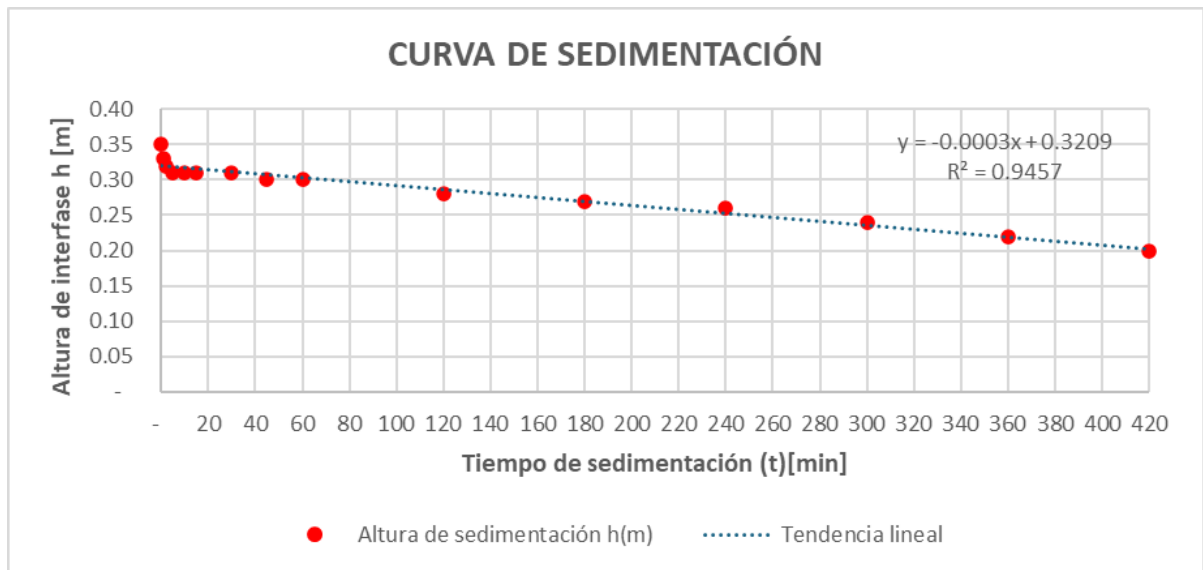


FIGURA 6. Curva de sedimentación para 15 g/l.

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Se seleccionó únicamente el tramo lineal de la curva de sedimentación y se ajustó una línea de tendencia. Mediante la ecuación de la recta, $y = mx + b$, se obtuvo la velocidad de sedimentación, considerando que la pendiente representa dicho parámetro ($m = V_s$).

$$V_s = 0.0003 \frac{m}{min}$$

$$V_s = 0.0000050 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 0.018 \frac{m}{h}$$

3.2.3. Curva de sedimentación para concentración de 20 g/l

Se presentan a continuación los resultados obtenidos, así como la curva y la velocidad de sedimentación correspondiente.

TABLA 3. Resultados obtenidos para 20 g/l

TABLA DE DATOS	
t (min)	h (m)
0	0.36
1	0.35
2	0.35
5	0.34
10	0.34
15	0.33
30	0.33
45	0.33
60	0.32
120	0.30
180	0.28
240	0.27
300	0.26
360	0.24
420	0.23

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

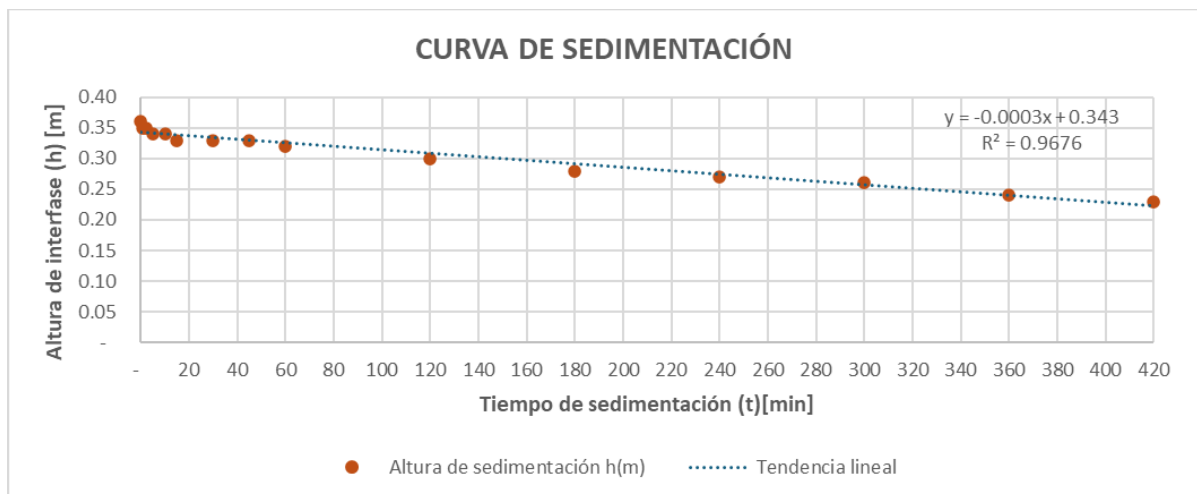


FIGURA 7. Curva de sedimentación para 20 g/l.

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Se seleccionó únicamente el tramo lineal de la curva de sedimentación y se ajustó una línea de tendencia. Mediante la ecuación de la recta, $y = mx + b$, se obtuvo la velocidad de sedimentación, considerando que la pendiente representa dicho parámetro ($m = V_s$).

$$V_s = 0.0003 \frac{m}{min}$$

$$V_s = 0.0000050 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 0.018 \frac{m}{h}$$

3.2.4. Curva de sedimentación para concentración de 25 g/l

Se presentan a continuación los resultados obtenidos, así como la curva y la velocidad de sedimentación correspondiente.

TABLA 4. Resultados obtenidos para 25 g/l

TABLA DE DATOS	
t (min)	h (m)
0	0.35
1	0.33
2	0.32
5	0.31
10	0.31
15	0.31
30	0.31
45	0.30
60	0.30
120	0.28
180	0.27
240	0.26
300	0.24
360	0.22
420	0.20

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

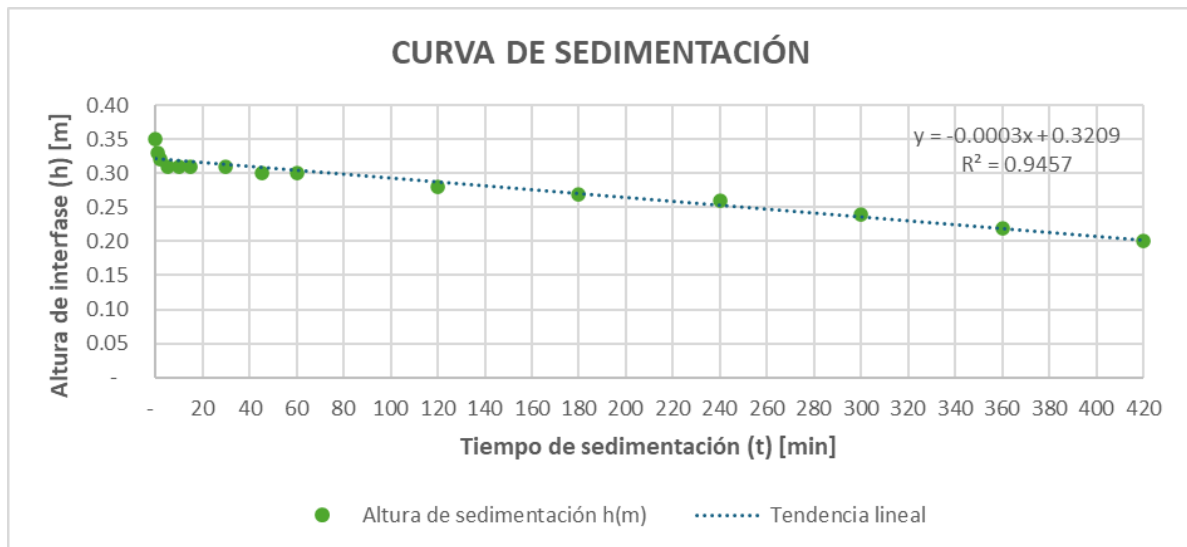


FIGURA 8. Curva de sedimentación para 25 g/l.

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Se seleccionó únicamente el tramo lineal de la curva de sedimentación y se ajustó una línea de tendencia. Mediante la ecuación de la recta, $y = mx + b$, se obtuvo la velocidad de sedimentación, considerando que la pendiente representa dicho parámetro ($m = V_s$).

$$V_s = 0.002 \frac{m}{min}$$

$$V_s = 0.0000333 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 0.120 \frac{m}{h}$$

3.3. Curva de flujo de sólidos por acción de la gravedad (SFg)

A partir de las velocidades registradas en cada curva de sedimentación para las distintas concentraciones utilizadas se determinó el valor de la curva de flujo de sólidos con la siguiente fórmula:

$$SFg = C * V_s$$

Donde:

SFg: Flujo de sólidos por acción de la gravedad en $(\frac{Kg}{m^2h})$

C: Concentración de muestra en $(\frac{Kg}{m^3})$

Vs: Velocidad de sedimentación en $(\frac{m}{h})$

Mediante la ecuación aplicada se obtuvo la siguiente tabla con los valores de SFg.

TABLA 5. Valores de SFg

C (kg/m ³)	Vs (m/h)	SFg (kg/m ² h)
0	0	0.0000
10	0.030	0.3000
15	0.018	0.2700
20	0.018	0.3600
25	0.120	3.0000

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Como resultado del análisis, se elaboró la curva de flujos de sólidos, en la que las concentraciones evaluadas se disponen en el eje horizontal, mientras que los valores de flujo de sólidos se representan en el eje vertical.

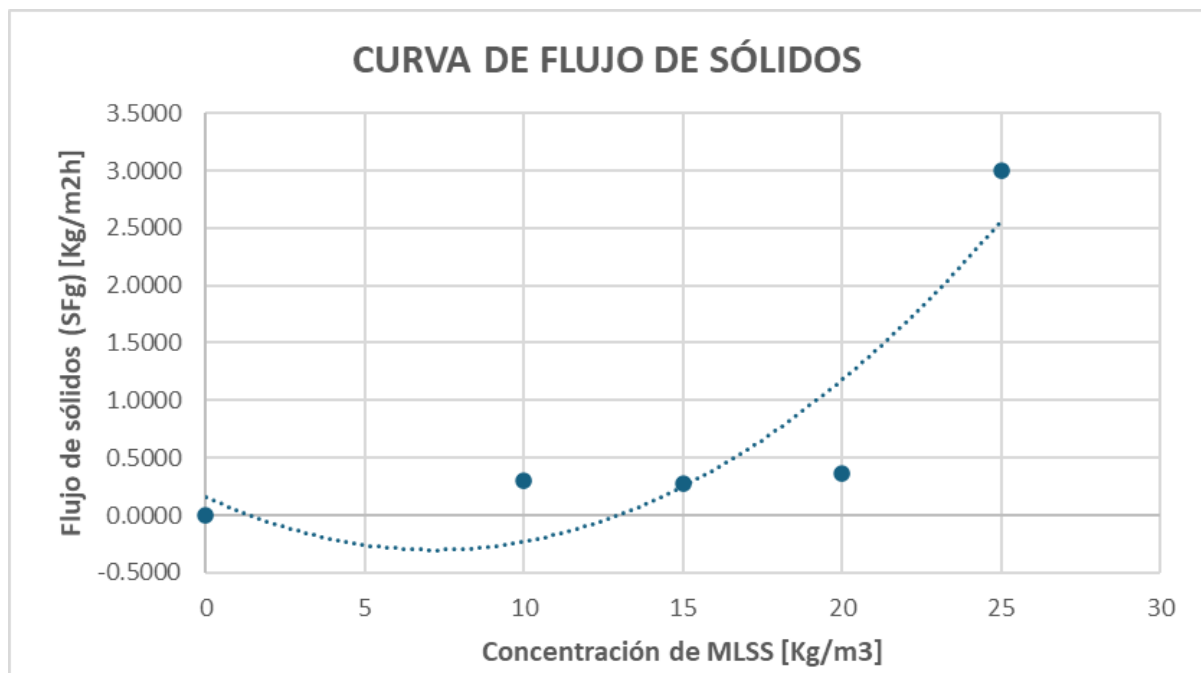


FIGURA 9. Curva de flujo de sólidos

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

3.4. Diseño de sedimentador horizontal

El diseño del sedimentador horizontal se desarrolló con base en los principios hidráulicos y geométricos aplicables a unidades de sedimentación de flujo horizontal, considerando los criterios técnicos establecidos en la literatura especializada. El proceso de diseño tuvo como finalidad definir las dimensiones y condiciones

operativas del sedimentador a escala piloto, garantizando un régimen de flujo adecuado para la remoción de sólidos sedimentables.

3.4.1. Dimensionamiento con una concentración de 10 g/l

3.4.1.1. Dimensionamiento exterior del proyecto

1. Para el dimensionamiento del sedimentador, se considera que la velocidad de sedimentación es equivalente a la carga superficial, también conocida como carga hidráulica.

$$V_s = 0.0000083 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 0.72 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

2. El caudal del diseño se determinará mediante la expresión:

$$Q = A_s * V_s$$

$$A_s = L_2 * B$$

$$L_2 : 1.35 \text{ m}$$

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$A_s: 0.6075 \text{ m}^2$$

El caudal resultante fue de:

$$Q = 0.0000051 \frac{m^3}{s}$$

3. Se asume un ancho del sedimentador y con base en este, se calcula la longitud requerida de la zona destinada a la sedimentación.

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = 1.35 \text{ m}$$

4. Se asume la distancia de separación entre el ingreso del flujo y la pantalla difusora, con lo cual se obtiene la longitud total de la unidad.

$$L_1: 0.15 \text{ m}$$

Con lo cual se obtiene como longitud total de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 = 1.5 \text{ m}$$

Según la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, la relación L/B recomendada para sedimentadores de flujo horizontal es de 3 a 6 (OPS, 2005). En este proyecto se adopta una relación L/B 1:3 verificándose que dicha relación sea compatible con los criterios hidráulicos del diseño y no afecte la eficiencia del proceso de sedimentación, comprobándose que en este caso el criterio se cumple adecuadamente.

$$\frac{L}{B} = \frac{1.50}{0.45} = 3.33$$

5. Asumiendo la profundidad de la unidad de $H=0.20\text{m}$, se verifica que la relación L/H este dentro del rango establecido (5-20m), empelando la siguiente ecuación:

$$\frac{L_2}{H} = \frac{1.35}{0.20} = 6.75 \text{ m}$$

6. Se calcula la velocidad horizontal V_h del flujo, mediante la expresión correspondiente, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico dentro del sedimentador.

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 0.0000051}{0.45 * 0.20} = 0.00566 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7. Mediante la siguiente expresión se determina el tiempo de retención hidráulica

$$T_0 = \frac{\text{Volumen del Sedimentador}}{Q}$$
$$T_0 = \frac{As * H}{Q} = \frac{0.6075 * 0.20}{0.0000051} = 24.000,00 \text{ seg} = 6.67 \text{ minutos}$$

8. Considerando una pendiente del 6.81% en el fondo de la unidad, diseñada para para facilitar el desplazamiento y acumulación del sedimento, se calcula la altura máxima resultante.

$$H' = H + 0.068H = 0.20 + 0.068 (0.20) = 0.213 \text{ m}$$

- Finalmente, se diseña un vertedero de salida cuya longitud de cresta es igual al ancho del sedimentador, permitiendo así determinar la carga hidráulica actuante sobre el vertedero.

$$qv = \frac{Q}{B} = \frac{0.0000051}{0.45} = 0.01125 \frac{l}{s * m}$$

3.4.1.2. Diseño de pantalla difusora

- Se asume una velocidad de paso del flujo a través de los orificios de la pantalla difusora, asegurando que esta no supere los 15 m/s, con el propósito de evitar perturbaciones en el proceso de sedimentación.

$$V_0 = 0.05 \text{ m/s}$$

- Para una adecuada distribución del flujo entrante se calcula el área total requerida mediante la ecuación:

$$A_o = \frac{0.0000051}{0.05} = 0.0001013 \text{ m}^2$$

- Considerando criterios de diseño hidráulicos se seleccionó un diámetro apropiado para este caso

$$d_o = 0.005 \text{ m}$$

- Se determina el área individual de cada orificio a partir del diámetro adoptado.

$$a_o = \pi * \frac{d_o^2}{4} = 0.000019635 \text{ m}^2$$

- A continuación, se establece el número aproximado del total de los orificios

$$n = \frac{A_o}{a_o} = \frac{0.0001013}{0.000019635} = 5.16 \approx 6$$

- Mediante la siguiente ecuación se define la altura correspondiente para la pantalla difusora

$$h = H - \frac{2}{5}H = 0.12 \text{ m}$$

7. Mediante la obtención del número de orificios, se calcula el numero correspondiente de columnas.

$$n_f = 2$$

Así obtenemos el total de columnas,

$$n_c = \frac{n}{n_f} = \frac{6}{2} = 3$$

8. Se establece el espaciamiento entre las filas de orificios, asegurando una adecuada separación para el funcionamiento hidráulico.

$$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{0.12}{2} = 0.06 \text{ m}$$

9. Para concluir con los cálculos y completar el diseño de la pantalla difusora se define el espacio entre columnas mediante la siguiente ecuación:

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} = \frac{0.45 - 0.06(3 - 1)}{2} = 0.39 \text{ m}$$

3.4.2. Dimensionamiento con una concentración de 15 g/l

3.4.2.1. Dimensionamiento exterior del proyecto

1. Para el dimensionamiento del sedimentador, se considera que la velocidad de sedimentación es equivalente a la carga superficial, también conocida como carga hidráulica.

$$V_s = 0.0000050 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_s = 0.432 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

2. El caudal de diseño Q se determina a partir de la expresión correspondiente, la cual permite establecer las condiciones de operación del sedimentador.

$$Q = As * Vs$$

$$As = L_2 * B$$

$$L_2 : 1.35 \text{ m}$$

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$As: 0.6075 \text{ m}^2$$

El caudal resultante fue de:

$$Q = 0.0000030 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3. Se asume un ancho del sedimentador y con base en este, se calcula la longitud requerida de la zona destinada a la sedimentación.

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{As}{B} = 1.35 \text{ m}$$

4. Se asume la distancia de separación entre el ingreso del flujo y la pantalla difusora, con lo cual se obtiene la longitud total de la unidad.

$$L_1: 0.15 \text{ m}$$

Con lo cual se obtiene como longitud total de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 = 1.5 \text{ m}$$

Según la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, la relación L/B recomendada para sedimentadores de flujo horizontal es de 3 a 6 (OPS, 2005). En este proyecto se adopta una relación L/B 1:3 verificándose que dicha relación sea compatible con los criterios hidráulicos del diseño y no afecte la eficiencia del proceso de sedimentación, comprobándose que en este caso el criterio se cumple adecuadamente.

$$\frac{L}{B} = \frac{1.50}{0.45} = 3.33$$

5. Se asume una profundidad de la unidad, H = 0.20 m y se verifica que la relación L/H se mantenga dentro del intervalo aceptable de 5 a 20.

$$\frac{L_2}{H} = \frac{1.35}{0.20} = 6.75 \text{ m}$$

6. Se calcula la velocidad horizontal V_h del flujo, mediante la expresión correspondiente, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico dentro del sedimentador.

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 0.0000030}{0.45 * 0.20} = 0.003375 \frac{m}{s}$$

7. Se determina el tiempo o periodo de retención hidráulica, parámetro fundamental para garantizar una adecuada remoción de sólidos.

$$T_0 = \frac{\text{Volumen del Sedimentador}}{Q}$$

$$T_0 = \frac{As * H}{Q} = \frac{0.6075 * 0.20}{0.0000030} = 40.000,00 \text{ seg} = 11.11 \text{ minutos}$$

8. Considerando una pendiente del 6.81% en el fondo de la unidad, diseñada para facilitar el desplazamiento y acumulación del sedimento, se calcula la altura máxima resultante.

$$H' = H + 0.068H = 0.20 + 0.068 (0.20) = 0.213 \text{ m}$$

9. Finalmente, se diseña un vertedero de salida cuya longitud de cresta es igual al ancho del sedimentador, permitiendo así determinar la carga hidráulica actuante sobre el vertedero.

$$qv = \frac{Q}{B} = \frac{0.0000030}{0.45} = 0.00675 \frac{l}{s * m}$$

3.4.2.2. Diseño de pantalla difusora

1. Se asume una velocidad de paso del flujo a través de los orificios de la pantalla difusora, asegurando que esta no supere los 15 m/s, con el propósito de evitar perturbaciones en el proceso de sedimentación.

$$V_0 = 0.05 \text{ m/s}$$

2. Se calcula el área total requerida de los orificios para permitir una adecuada distribución del flujo entrante.

$$A_o = \frac{0.0000030}{0.05} = 0.0000608 \text{ m}^2$$

3. Se selecciona un diámetro apropiado para los orificios, considerando criterios hidráulicos y constructivos.

$$d_o = 0.005 \text{ m}$$

4. Se determina el área individual de cada orificio a partir del diámetro adoptado.

$$a_o = \pi * \frac{d_o^2}{4} = 0.000019635 \text{ m}^2$$

5. Con base en el área total requerida y el área de cada orificio, se establece el número total de orificios necesarios.

$$n = \frac{A_o}{a_o} = \frac{0.0000608}{0.000019635} = 3.09 \approx \text{asumo } 4$$

6. Se define la altura efectiva de la pantalla difusora que contará con orificios, garantizando una distribución uniforme del flujo.

$$h = H - \frac{2}{5}H = 0.12 \text{ m}$$

7. Se asume un número determinado de filas de orificios y, a partir de ello, se calcula el número correspondiente de columnas.

$$n_f = 2$$

Así obtenemos el total de columnas,

$$n_c = \frac{n}{n_f} = \frac{4}{2} = 2$$

8. Se establece el espaciamiento entre las filas de orificios, asegurando una adecuada separación para el funcionamiento hidráulico.

$$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{0.12}{2} = 0.06 \text{ m}$$

9. Finalmente, se determina el espaciamiento entre columnas, completando así el diseño geométrico de la pantalla difusora.

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} = \frac{0.45 - 0.06(2 - 1)}{2} = 0.42 \text{ m}$$

3.4.3. Dimensionamiento con una concentración de 20 g/l

3.4.3.1. Dimensionamiento exterior del proyecto

1. Para el dimensionamiento del sedimentador, se considera que la velocidad de sedimentación es equivalente a la carga superficial, también conocida como carga hidráulica.

$$V_s = 0.0000050 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_s = 0.432 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}$$

2. El caudal de diseño Q se determina a partir de la expresión correspondiente, la cual permite establecer las condiciones de operación del sedimentador.

$$Q = A_s * V_s$$

$$A_s = L_2 * B$$

$$L_2 : 1.35 \text{ m}$$

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$A_s: 0.6075 \text{ m}^2$$

El caudal resultante fue de:

$$Q = 0.0000030 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3. Se asume un ancho del sedimentador y con base en este, se calcula la longitud requerida de la zona destinada a la sedimentación.

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{As}{B} = 1.35 \text{ m}$$

4. Se asume la distancia de separación entre el ingreso del flujo y la pantalla difusora, con lo cual se obtiene la longitud total de la unidad.

$$L_1: 0.15 \text{ m}$$

Con lo cual se obtiene como longitud total de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 = 1.5 \text{ m}$$

Según la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, la relación L/B recomendada para sedimentadores de flujo horizontal es de 3 a 6 (OPS, 2005). En este proyecto se adopta una relación L/B 1:3 verificándose que dicha relación sea compatible con los criterios hidráulicos del diseño y no afecte la eficiencia del proceso de sedimentación, comprobándose que en este caso el criterio se cumple adecuadamente.

$$\frac{L}{B} = \frac{1.50}{0.45} = 3.33$$

5. Se asume una profundidad de la unidad, $H = 0.20 \text{ m}$ y se verifica que la relación L/H se mantenga dentro del intervalo aceptable de 5 a 20.

$$\frac{L_2}{H} = \frac{1.35}{0.20} = 6.75 \text{ m}$$

6. Se calcula la velocidad horizontal V_h del flujo, mediante la expresión correspondiente, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico dentro del sedimentador.

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 0.0000030}{0.45 * 0.20} = 0.003375 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

7. Se determina el tiempo o periodo de retención hidráulica, parámetro fundamental para garantizar una adecuada remoción de sólidos.

$$T_0 = \frac{\text{Volumen del Sedimentador}}{Q}$$

$$T_0 = \frac{As * H}{Q} = \frac{0.6075 * 0.20}{0.0000030} = 40.000,00 \text{ seg} = 11.11 \text{ minutos}$$

8. Considerando una pendiente del 6.81% en el fondo de la unidad, diseñada para para facilitar el desplazamiento y acumulación del sedimento, se calcula la altura máxima resultante.

$$H' = H + 0.068H = 0.20 + 0.068 (0.20) = 0.213 \text{ m}$$

9. Finalmente, se diseña un vertedero de salida cuya longitud de cresta es igual al ancho del sedimentador, permitiendo así determinar la carga hidráulica actuante sobre el vertedero.

$$qv = \frac{Q}{B} = \frac{0.0000030}{0.45} = 0.00675 \frac{l}{s * m}$$

3.4.3.2. Diseño de pantalla difusora

1. Se asume una velocidad de paso del flujo a través de los orificios de la pantalla difusora, asegurando que esta no supere los 15 m/s, con el propósito de evitar perturbaciones en el proceso de sedimentación.

$$V_0 = 0.05 \text{ m/s}$$

2. Se calcula el área total requerida de los orificios para permitir una adecuada distribución del flujo entrante.

$$A_o = \frac{0.0000030}{0.05} = 0.0000608 \text{ m}^2$$

3. Se selecciona un diámetro apropiado para los orificios, considerando criterios hidráulicos y constructivos.

$$d_o = 0.005 \text{ m}$$

4. Se determina el área individual de cada orificio a partir del diámetro adoptado.

$$a_o = \pi * \frac{d_o^2}{4} = 0.000019635 \text{ m}^2$$

5. Con base en el área total requerida y el área de cada orificio, se establece el número total de orificios necesarios.

$$n = \frac{A_0}{a_0} = \frac{0.0000608}{0.000019635} = 3.09 \approx \text{asumo } 4$$

6. Se define la altura efectiva de la pantalla difusora que contará con orificios, garantizando una distribución uniforme del flujo.

$$h = H - \frac{2}{5}H = 0.12 \text{ m}$$

7. Se asume un número determinado de filas de orificios y, a partir de ello, se calcula el número correspondiente de columnas.

$$n_f = 2$$

Así obtenemos el total de columnas,

$$n_c = \frac{n}{n_f} = \frac{4}{2} = 2$$

8. Se establece el espaciamiento entre las filas de orificios, asegurando una adecuada separación para el funcionamiento hidráulico.

$$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{0.12}{2} = 0.06 \text{ m}$$

9. Finalmente, se determina el espaciamiento entre columnas, completando así el diseño geométrico de la pantalla difusora.

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} = \frac{0.45 - 0.06(2 - 1)}{2} = 0.42 \text{ m}$$

3.4.4. Dimensionamiento con una concentración de 25 g/l

3.4.4.1. Dimensionamiento exterior del proyecto

1. Para el dimensionamiento del sedimentador, se considera que la velocidad de sedimentación es equivalente a la carga superficial, también conocida como carga hidráulica.

$$V_s = 0.0000333 \frac{m}{s}$$

$$V_s = 2.88 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

2. El caudal de diseño Q se determina a partir de la expresión correspondiente, la cual permite establecer las condiciones de operación del sedimentador.

$$Q = A_s * V_s$$

$$A_s = L_2 * B$$

$$L_2 : 1.35 \text{ m}$$

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$A_s: 0.6075 \text{ m}^2$$

El caudal resultante fue de:

$$Q = 0.0000203 \frac{m^3}{s}$$

3. Se asume un ancho del sedimentador y con base en este, se calcula la longitud requerida de la zona destinada a la sedimentación.

$$B: 0.45 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{A_s}{B} = 1.35 \text{ m}$$

4. Se asume la distancia de separación entre el ingreso del flujo y la pantalla difusora, con lo cual se obtiene la longitud total de la unidad.

$$L_1: 0.15 \text{ m}$$

Con lo cual se obtiene como longitud total de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 = 1.5 \text{ m}$$

Según la Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores, la relación L/B recomendada para sedimentadores de flujo horizontal es de 3 a 6 (OPS, 2005). En este proyecto se adopta una relación L/B 1:3 verificándose que dicha relación sea compatible con los criterios hidráulicos del diseño y no afecte la eficiencia del proceso de sedimentación, comprobándose que en este caso el criterio se cumple adecuadamente.

$$\frac{L}{B} = \frac{1.50}{0.45} = 3.33$$

5. Se asume una profundidad de la unidad, $H = 0.20$ m y se verifica que la relación L/H se mantenga dentro del intervalo aceptable de 5 a 20.

$$\frac{L_2}{H} = \frac{1.35}{0.20} = 6.75 \text{ m}$$

6. Se calcula la velocidad horizontal V_h del flujo, mediante la expresión correspondiente, con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico dentro del sedimentador.

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H} = \frac{100 * 0.0000203}{0.45 * 0.20} = 0.0075 \frac{m}{s}$$

7. Se determina el tiempo o periodo de retención hidráulica, parámetro fundamental para garantizar una adecuada remoción de sólidos.

$$T_0 = \frac{\text{Volumen del Sedimentador}}{Q}$$

$$T_0 = \frac{As * H}{Q} = \frac{0.6075 * 0.20}{0.0000203} = 6.000,00 \text{ seg} = 1.67 \text{ minutos}$$

8. Considerando una pendiente del 6.81% en el fondo de la unidad, diseñada para para facilitar el desplazamiento y acumulación del sedimento, se calcula la altura máxima resultante.

$$H' = H + 0.068H = 0.20 + 0.068 (0.20) = 0.213 \text{ m}$$

9. Finalmente, se diseña un vertedero de salida cuya longitud de cresta es igual al ancho del sedimentador, permitiendo así determinar la carga hidráulica actuante sobre el vertedero.

$$qv = \frac{Q}{B} = \frac{0.0000203}{0.45} = 0.045 \frac{l}{s * m}$$

3.4.4.2. Diseño de pantalla difusora

1. Se asume una velocidad de paso del flujo a través de los orificios de la pantalla difusora, asegurando que esta no supere los 15 m/s, con el propósito de evitar perturbaciones en el proceso de sedimentación.

$$V_o = 0.05 \text{ m/s}$$

2. Se calcula el área total requerida de los orificios para permitir una adecuada distribución del flujo entrante.

$$A_o = \frac{0.0000203}{0.05} = 0.000406 \text{ m}^2$$

3. Se selecciona un diámetro apropiado para los orificios, considerando criterios hidráulicos y constructivos.

$$d_o = 0.005 \text{ m}$$

4. Se determina el área individual de cada orificio a partir del diámetro adoptado.

$$a_o = \pi * \frac{d_o^2}{4} = 0.000019635 \text{ m}^2$$

5. Con base en el área total requerida y el área de cada orificio, se establece el número total de orificios necesarios.

$$n = \frac{A_o}{a_o} = \frac{0.000406}{0.000019635} = 20.63 \approx \text{asumo } 22$$

6. Se define la altura efectiva de la pantalla difusora que contará con orificios, garantizando una distribución uniforme del flujo.

$$h = H - \frac{2}{5}H = 0.12 \text{ m}$$

7. Se asume un número determinado de filas de orificios y, a partir de ello, se calcula el número correspondiente de columnas.

$$n_f = 5$$

Así obtenemos el total de columnas,

$$n_c = \frac{n}{n_f} = \frac{22}{5} = 4.4$$

8. Se establece el espaciamiento entre las filas de orificios, asegurando una adecuada separación para el funcionamiento hidráulico.

$$a_1 = \frac{h}{n_f} = \frac{0.12}{4.4} = 0.027 \text{ m}$$

9. Finalmente, se determina el espaciamiento entre columnas, completando así el diseño geométrico de la pantalla difusora.

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} = \frac{0.45 - 0.027(4.4 - 1)}{2} = 0.18 \text{ m}$$

3.5. Ensayo gravimétrico para la determinación de sólidos totales

El ensayo gravimétrico para la determinación de sólidos totales se basa en la cuantificación de la materia sólida presente en una muestra mediante la medición de la diferencia de masa antes y después de un proceso de secado controlado. Para ello, se utilizaron crisoles previamente lavados y secados en estufa a una temperatura de 105 °C hasta alcanzar peso constante, con el fin de eliminar cualquier humedad residual.

Posteriormente, se colocó un volumen de 50 ml de muestra de agua residual en el crisol y se sometió nuevamente al proceso de secado bajo las mismas condiciones. Una vez enfriadas en un desecador, los crisoles fueron pesados para determinar la masa final.

La concentración de sólidos totales se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$ST = \frac{W_{\text{crisol a } 105^{\circ}\text{C}} - W_{\text{crisol vacío}}}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde:

ST: Sólidos totales

W: Pesos obtenidos

V: Volumen de la muestra

Mediante la aplicación de la ecuación del método gravimétrico se obtuvo el siguiente valor de sólidos totales de la muestra analizada.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis del sedimento

4.1.1. Distribución granulométrica en los tamices

Para determinar la distribución granulométrica en cada uno de los tamices empleados en el ensayo, a continuación, realizamos una tabla para poder identificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en la muestra tomada para realizar dicho procedimiento. Dicho análisis permitió obtener un parámetro fundamental para determinar el comportamiento del sedimento por acción de la gravedad.

TABLA 6. Distribución granulométrica del sedimento analizado

Abertura del tamiz	(Pulg)	(mm)	Peso húmedo (g)		Peso seco (g)	
			Peso retenido (g)	Porcentaje Retenido %	Porcentaje Retenido Acumulado %	Porcentaje Pasante %
No. 60	0.0098"	0.250	106.1	71.88	71.88	28.12
No. 80	0.0070"	0.180	21.1	14.30	86.18	13.82
No.100	0.0059"	0.150	12.9	8.74	94.92	5.08
No. 200	0.0029"	0.075	7.5	5.08	100.00	0.00
Total			147.6	100.00		

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Los resultados evidencian que el sedimento analizado está compuesto mayoritariamente por partículas de tamaño grueso, observándose que el 71.88% del material fue retenido en el tamiz No. 60 (0.250 mm), Asimismo, el análisis acumulado muestra que aproximadamente el 86.18% del material presenta diámetros superiores a 0.180 mm, mientras que la fracción finas representa una proporción reducida de la muestra total. Esta distribución granulométrica indica condiciones favorables para la sedimentación por gravedad, dado que las partículas de mayor tamaño tienden a presentar mayores velocidades de caída.

4.1.2. Análisis del peso específico relativo del sedimento

El peso específico relativo del sedimento fue determinado mediante un ensayo gravimétrico, con el objetivo de evaluar la relación entre la densidad de las partículas

sólidas y la del fluido, parámetro que influye directamente en el comportamiento de sedimentación del material.

Los datos obtenidos fueron sustituidos en la ecuación correspondiente, obteniéndose un valor de:

$$Ss = \frac{50g}{565.7g + 50g - 596.8g} = \frac{50g}{18.9g} = 2.645$$

$$\gamma = 2.645 * 1000 \frac{kg}{m^3} = 2645 kg/m^3$$

El valor de peso específico relativo obtenido para el sedimento analizado indica que el material presenta una densidad significativamente mayor que la del agua, característica propia de sedimentos de origen mineral como arenas y limos. Este comportamiento está asociado a la naturaleza inorgánica de las partículas, las cuales favorecen la eficiencia de los procesos de sedimentación por gravedad al generar velocidades de decantación más elevadas (Metcalf *et al.* 1995).

En este sentido, el valor obtenido resulta coherente con la naturaleza granular del material evaluado y constituye un parámetro relevante para el diseño hidráulico, ya que permite optimizar los tiempos de retención y asegurar una efectiva remoción de sólidos en el sistema.

4.2. Análisis del proceso de sedimentación

4.2.1. Análisis de las curvas de sedimentación

Con el objetivo de evaluar el comportamiento del proceso de sedimentación, se analizaron las curvas de sedimentación obtenidas durante la fase experimental para las concentraciones de 10, 15, 20 y 25 g/l. Este parámetro es fundamental, ya que permite estimar la capacidad del sistema para remover sólidos suspendidos mediante procesos gravitacionales. A partir de los cálculos realizados, se obtuvieron las siguientes velocidades de sedimentación.

TABLA 7. Velocidades de sedimentación en comparación con los rangos de diseño

CONCENTRACIONES g/l	VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN $\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$	RANGOS DE DISEÑO $\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$	NO CUMPLE	SI CUMPLE
10	0.72	[2-10]		
15	0.432	[2-10]		
20	0.432	[2-10]		
25	2.88	[2-10]		

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Tal como se observa en la Figura 3.7 a 3.10 del capítulo III, todas las concentraciones evaluadas presentan un comportamiento similar, con una etapa inicial de sedimentación rápida seguida de un tramo lineal, en el que la velocidad de descenso de la interfase sólido líquido se mantiene prácticamente constante. Este tramo lineal permitió determinar las velocidades de sedimentación representativas de cada condición experimental, las cuales fueron comparadas con los valores recomendados por la normativa vigente.

A partir de esta comparación, se evidenció que únicamente la velocidad correspondiente a la concentración de 25 g/l se encuentra dentro del rango permitido, comprendido entre 2-10 $\text{m}^3 / \text{m}^2 * \text{día}$, mientras que las demás concentraciones no cumplen con los criterios de diseño establecidos.

4.3. Análisis de los parámetros hidráulicos del sedimentador

4.3.1. Análisis del tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica fue calculado para cada una de las concentraciones evaluadas, con el propósito de analizar la eficiencia del sedimentador horizontal a escala, permitiendo verificar si el tiempo de permanencia del flujo dentro de la unidad es adecuada para favorecer el proceso de sedimentación.

TABLA 8. Tiempo de retención en comparación con los rangos de diseño

CONCENTRACIONES g/l	TIEMPO DE RETENCIÓN horas	RANGOS DE DISEÑO horas	NO CUMPLE	SI CUMPLE
10	0.11	[1-3]		
15	0.19	[1-3]		
20	0.19	[1-3]		
25	0.028	[1-3]		

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

El análisis del tiempo de retención hidráulica evidencia que, dichos valores se encuentran en un rango comprendido entre 0.028 y 0.19 horas, valores que se sitúan por debajo del intervalo recomendado de 1 a 3 horas para sedimentadores horizontales. No obstante, estos tiempos corresponden a las condiciones específicas de operación y a las concentraciones de sólidos definidos para los ensayos experimentales, por lo que reflejan el comportamiento hidráulico del sedimentador a escala bajo escenarios controlados. En este sentido, los resultados permiten caracterizar la dinámica del sistema para los rangos de trabajo establecidos, sin que ello implique necesariamente una condición de inadecuación del diseño.

4.3.2. Análisis de la carga hidráulica sobre el vertedero de salida

La carga hidráulica sobre el vertedero de salida fue evaluada con el fin de verificar el comportamiento del flujo durante la descarga del sedimentador y su compatibilidad con los criterios hidráulicos de diseño. Los resultados obtenidos permiten determinar si la capacidad del vertedero es adecuada para evacuar el caudal sin generar sobrecargas ni afectar la estabilidad hidráulica de la unidad ni el desempeño del proceso de sedimentación.

TABLA 9. Carga hidráulica en comparación con los rangos de diseño establecidos

CONCENTRACIONES g/l	CARGA HIDRÁULICA SOBRE VERTEDERO DE SALIDA l/s*m	RANGOS DE DISEÑO l/s*m	NO CUMPLE	SI CUMPLE
10	0.01125	[≤3]		
15	0.00675	[≤3]		
20	0.00675	[≤3]		
25	0.045	[≤3]		

Fuente: Saltos, J., Zambrano, A., 2026

Los resultados obtenidos presentes en la tabla 9, nos proporcionan un análisis sólido en cuanto a la carga hidráulica del flujo puesto que se muestra que para las diferentes concentraciones utilizadas, los valores que se obtuvieron cumplen y se encuentran por debajo de los rangos de diseño establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (2005), lo que garantiza el funcionamiento adecuado del sistema, y a su vez se evidencia que el vertedero opera bajo condiciones hidráulicas óptimas, lo que sugiere que el caudal mantiene una distribución efectiva ante el flujo de salida, contribuyendo así a prevenir condiciones de sobrecarga.

4.4. Análisis de calidad de la muestra ensayada

4.4.1. Determinación de sólidos totales

Para calcular y determinar los sólidos totales de la muestra ensayada se aplicó la siguiente ecuación la cual permitió caracterizar la carga sólida presente en la misma.

$$ST = \frac{W_{\text{crisol a } 105^{\circ}\text{C}} - W_{\text{crisol vacío}}}{V_{\text{muestra}}} = \frac{65.86\text{g} - 65.74\text{g}}{50\text{ ml}} = \frac{0.12\text{g}}{50\text{ ml}}$$

$$= \frac{120\text{ mg}}{0.05\text{ L}} = 2400\text{ mg/l}$$

Según datos reportados por Metcalf *et al.* (1995), las aguas residuales domésticas sin tratamiento presentan concentraciones de sólidos totales que generalmente se ubican

en un rango aproximado de 350 – 1200 mg/l, siendo 720 mg/l el valor representativo de aguas residuales de carga media.

En este contexto el resultado obtenido fue de 2400 mg/l lo que evidencia una concentración superior a los valores típicos reportados, lo que sugiere una elevada carga de sólidos en el agua analizada.

Mediante un análisis integral, el cual permite evaluar los resultados obtenidos durante el tiempo de ensayo, permitió identificar la eficiencia del comportamiento físico-hidráulico del proceso de sedimentación, así mismo permitió identificar la influencia de la concentración de sólidos, la caracterización granulométrica y el peso específico relativo del sedimento, de esta manera evidenciando las condiciones óptimas del proceso de sedimentación por gravedad.

Los resultados obtenidos durante los ensayos experimentales indican que al menos en la concentración de sólidos, esto constituye a ser un factor determinante durante el proceso, para esto la concentración mayor siendo la de 25 g/l demostró que se encuentra dentro de los rangos establecidos en cuanto a la velocidad de sedimentación. Por otra parte, los TRH resultaron ineficientes ya que su valor obtenido está muy por debajo del rango establecido de $1-3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, lo que puede ocasionar deficiencias al sistema.

Finalmente se determina que los valores obtenidos para la carga hidráulica se encuentran dentro de los rangos admisibles lo que demuestra un comportamiento de carga hidráulica eficiente y adecuado para el sistema. En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el sedimentador horizontal a escala reproduce de manera adecuada el comportamiento del proceso de sedimentación, consolidándose como una herramienta válida para fines académicos y experimentales en el análisis del tratamiento primario de aguas residuales urbanas.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

La presente investigación se llevó a cabo con el propósito de calcular, diseñar y construir un sedimentador horizontal en escala piloto, cuyo objetivo es funcionar como simulador académico para la evaluación del tratamiento primario de aguas residuales urbanas, este estudio busca interpretar el comportamiento físico-hidráulico del proceso de sedimentación, comparando los datos experimentales obtenidos con los principios teóricos y criterios de diseño establecidos en la literatura técnica especializada.

Desde una perspectiva sobre la caracterización física del sedimento en las muestras, los resultados del análisis granulométricos mostraron una clara predominancia de partículas gruesas, ya que más del 70% del material ensayado fue retenido en el tamiz No. 60 (250 μ m) mientras que aproximadamente el 86% correspondió a partículas con diámetros superiores a 0.180mm. esta distribución granulométrica concuerda con las observaciones realizadas por Arboleda (2000) y Romero (2020), quienes señalan que las partículas más grandes tienden a sedimentar de forma más rápida bajo la influencia de la gravedad, lo que a su vez favorece los procesos de decantación en los sedimentadores primarios. Por lo tanto, se puede decir que el sedimento analizado presenta condiciones favorables y óptimas para su remoción mediante sedimentación por gravedad.

No obstante, al analizar el peso específico relativo de la muestra del sedimento se obtuvieron valores cercanos a 2,65 lo cual es un valor típico de sólidos inorgánicos y de minerales tales como arenas y limos. A diferencia de los lodos orgánicos que poseen densidades similares a las del agua, el valor obtenido indica una alta densidad sugiriendo una escasa presencia de materia orgánica volátil dentro de esta fracción sedimentaria, lo que es crucial ya que confirma la notable capacidad altamente efectiva para ser removido por sedimentación (Metcalf *et al.*, 1995)

El desempeño durante del proceso de sedimentación fue evaluado mediante ensayos en columnas para concentraciones de 10, 15, 20 y 25 g/l. Las curvas obtenidas mostraron un patrón común en todas las concentraciones, caracterizado por una fase inicial de sedimentación rápida seguida de un tramo lineal donde la velocidad de

descenso de la interfase sólido-líquido se mantuvo prácticamente constante. Este comportamiento coincide con los mecanismos descritos por Romero (2020) para la relativos a la sedimentación floculenta y zonal, donde interactúan partículas y también influye la concentración de sólidos en la dinámica del asentamiento.

La evaluación de las velocidades de sedimentación a partir del tramo lineal de las curvas permitió establecer comparaciones entre los valores obtenidos y los rangos recomendados en la literatura. Este análisis comparativo reveló que solo la concentración de 25 g/l satisface los criterios diseñados, mientras que las concentraciones menores (10, 15 y 20 g/l) mostraron velocidades inferiores al rango recomendado.

Este hallazgo subraya el papel crucial que juega la concentración de sólidos en la eficacia del proceso de sedimentación. Según lo señalado por LibreTexts (2022) y Li *et al.* (2024), quienes indican que aumentos en dicha concentración pueden mejorar la sedimentación hasta ciertos límites operativos.

En cuanto al diseño hidráulico del sedimentador horizontal a escala, el análisis del tiempo de retención evidenció que, para los escenarios evaluados, los resultados estuvieron por debajo del intervalo sugerido que es entre 1 y 3 horas establecido por la Organización Panamericana de la Salud (2005). No obstante, esta variabilidad deber ser considerada a partir de las características específicas correspondientes a cada una de las muestras utilizadas durante los ensayos experimentales, las cuales influyen directamente en la dinámica del proceso sedimentario.

En este sentido, el tiempo adoptado para retención refleja adecuadamente el comportamiento sistémico bajo condiciones controladas en laboratorio, facilitando así un análisis detallado sobre cómo responde de forma hidráulica el sedimento durante pruebas específicas.

No obstante, es importante considerar que el sistema desarrollado corresponde a un modelo a escala con fines académicos, lo cual implica restricciones geométricas y operativas propias del entorno de laboratorio. En tal sentido, los tiempos de retención obtenidos no solo deben interpretarse como una deficiencia del diseño sino también como una oportunidad para que el modelo permita analizar, de manera didáctica, la influencia de este parámetro sobre el rendimiento del proceso de sedimentación. De

acuerdo con Garrido (2018), los modelos a escala cumplen un rol fundamental en la comprensión de los fenómenos hidráulicos, aun cuando no reproduzcan de forma exacta todas las condiciones de operación de una planta a escala real.

Por otro lado, el análisis de la carga hidráulica sobre el vertedero de salida evidencio que, para todas las concentraciones evaluadas, los valores calculados se mantuvieron dentro de los limites admisibles establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (2005). Dicho resultado sugiere que el diseño del vertedero es adecuado y que el sistema saliente no genera condiciones ni sobrecarga ni genera turbulencias capaces de perjudicar negativamente al proceso de sedimentación, ya que una evacuación adecuada y correcta del efluente clarificado resulta fundamental para prevenir la Re-suspensión de los sólidos y de esta manera asegurar la estabilidad hidráulica del sistema.

Además, el determinar los sólidos totales mostro una concentración con un valor alcanzado de 2400 mg/l en la muestra analizada de aguas residuales, esta cifra supera de manera considerable los rangos establecidos entre 350 y 1200 mg/l para aguas residuales domesticas sin tratamiento (Metcalf *et al.*, 1995). Esta alta carga solida indica posibles aportes adicionales o ineficiencias en el manejo del efluente y subraya la necesidad de evaluar el rendimiento del sedimentador bajo altas concentraciones sólidas, así mismo, esta característica explica los comportamientos observados durante ensayos de sedimentación y refuerza la relevancia en el estudio realizado.

En conjunto, estos resultados evidencian que el sedimentador horizontal a escala piloto reproduce adecuadamente principios fundamentales de procesos de sedimentación lo cual permitirá analizar las influencias de variables tales como la granulometría, concentración de sólidos, velocidad de sedimentación y tiempo de retención hidráulica. A pesar de las limitaciones adaptadas al diseño este cumple con los objetivos de ser un simulador académico facilitando así la comprensión integral de un tratamiento primario de aguas residuales urbanas.

Finalmente, los resultados de este proyecto crean oportunidades para futuras investigaciones enfocadas en la optimización del diseño del sedimentador, lo cual incluiría la modificación de las dimensiones geométricas con el propósito de aumentar

el tiempo de retención hidráulico y evaluar diferentes configuraciones que permitan a las pantallas difusoras favorecer una distribución más eficiente del flujo. Estas investigaciones permitirían mejorar la eficiencia del sistema y ampliar su aplicabilidad tanto en el ámbito académico como en estudios preliminares para el diseño de unidades de tratamiento a mayor escala.

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permitió cumplir con el objetivo general de calcular, diseñar y construir un sedimentador horizontal a escala piloto, concebido como un simulador académico para el análisis del tratamiento primario de aguas residuales urbanas. El prototipo elaborado reproduce de manera controlada los principios fundamentales del proceso de sedimentación, constituyéndose en una herramienta funcional que facilita la comprensión del comportamiento físico-hidráulico de este tipo de unidades de tratamiento dentro de un entorno educativo.

A través de la literatura revisada y el análisis de criterios técnicos proporcionados en la normativa y literatura especializada, se desarrollaron los parámetros teóricos del cálculo y diseño del tanque de sedimentación horizontal a escala, incluyendo velocidad de sedimentación, carga superficial, tiempo de retención hidráulica, relaciones geométricas en cuanto al modelo aplicado y condiciones hidráulicas del vertedero de salida, dichos parámetros fueron base fundamental para proponer alternativas de diseño, un medio para examinar su coherencia con los valores sugeridos y un medio para elegir el modelo más adecuado para su construcción a escala piloto.

Las pruebas experimentales empleadas en columnas de sedimentación demostraron el papel de la concentración de sólidos en la determinación del rendimiento del sistema empleado. Las curvas por otra parte mostraron un comportamiento comparable para todas las concentraciones probadas, primero una sedimentación rápida y luego una transición lineal, lo que nos llevo a identificar velocidades de sedimentación representativas en cada una de ellas. Al comparar estos datos obtenidos con las especificaciones de diseño, se evidenció que 25 g/l cumplía con estos parámetros, mientras que las concentraciones derivadas de 10, 15 y 20 g/l estaban a velocidades mas bajas, lo cual indica un efecto directo de la carga de sólidos en la eficiencia del sistema.

En cuanto al diseño hidráulico del tanque de sedimentación horizontal a escala piloto, se pudo observar que el resultado del tiempo de retención hidráulica indico aquellos valores obtenidos están por debajo del rango sugerido que se recomienda para

tanques de sedimentación horizontal. Por lo tanto, esta condición permitió realizar un breve análisis directo para medir el efecto de este parámetro en el rendimiento del proceso de sedimentación, obteniendo conocimientos sobre la función hidráulica del sistema en ciertas circunstancias. Aquello va en concordancia de lo que indica la teoría respecto a la eficiencia de los procesos de sedimentación en proporción directa al peso específico de las partículas, y la consecuente utilización de alternativas más viables a cuando esto se presenta.

Por el contrario, la carga hidráulica en el vertedero de salida mostro que, en cuanto a las concentraciones evaluadas, los valores calculados aun estaban dentro de los valores admisibles establecidos, lo que significa que el sistema esta operando correctamente en cuando al comportamiento hidráulico y a la remoción del efluente clarificado sin causar alteraciones en la unidad de sedimentación.

Finalmente, se realizó con éxito el manual de uso, operación y mantenimiento el cual apoyara el desarrollo del proyecto al establecer una serie de métodos y procesos para llevar a cabo una operación segura y eficiente del tanque de sedimentación horizontal a escala piloto. En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el modelo construido cumple con su propósito como simular académico, permitiendo analizar de forma integral el proceso de sedimentación y fortaleciendo la formación práctica para los estudiantes en cuanto a el área de tratamiento de aguas residuales urbanas.

6.2. RECOMENDACIONES

Siendo estos elementos de separación ideados para los procesos de pretratamiento de aguas residuales, es decir separación física, la determinación de la concentración de sólidos previo al uso de esta alternativa indicará la viabilidad de aplicación. Consecuentemente los ensayos de sedimentación para procesos académicos considerarán previamente las concentraciones de sólidos que derivan de las aguas residuales urbanas.

Para una evaluación más detallada de la relación entre la concentración de sólidos, la dinámica de sedimentación y el comportamiento hidráulico del sistema bajo diversas condiciones de operación, se debe considerar una variedad más amplia de concentraciones para mejorar el análisis experimental y lograr obtener mejores resultados que permitan comparaciones en cuanto al del análisis de columnas de sedimentación. Mientras que la tasa de entrada del sedimentador a escala es un parámetro crítico de control del tiempo de retención hidráulica y, por tanto, de la eficiencia del proceso de eliminación de sólidos sedimentables durante el proceso, ya que para mayor eficiencia se recomienda el aumento de horas.

Asimismo, el rendimiento hidráulico del vertedero de salida y el mantenimiento de la carga hidráulica dentro de los valores admisibles también son esenciales para evitar cualquier alteración o perturbaciones en el comportamiento del flujo y por lo tanto en el rendimiento del proceso de sedimentación en el sistema.

Para finalizar, se debe considerar la limpieza y el mantenimiento del sedimentador ya que estas deben realizarse después de cada prueba para lograr proteger las condiciones hidráulicas de diseño y garantizar una medición precisa del proceso de sedimentación sin la acumulación de sedimento para la obtención de mejores resultados y visibilidad en cada ensayo preparado.

Referencias

- Arboleda, J. 2000. *“Teoría y práctica de la purificación del agua”*. Universidad de Minnesota. Colombia: NOMOS S.A. Obtenido de https://www.academia.edu/49010823/Teoria_y_Practica_de_la_Purificacion_del_H2O_Tomo_1_Arboleda_Valencia
- Chávez, M.; Guillín, G.; & Ortega, J. 2018. *Diseño y Construcción a Escala Piloto De Un Prototipo De Sedimentador Rectangular*. Guayaquil: ESPOL. FICT. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46742>
- Fernández, R. 2016. Sedimentación/Aguas. MIGMA. Obtenido de https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/sedimentacion_migma_2016_rfd_rev0.pdfhttps://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/sedimentacion_migma_2016_rfd_rev0.pdf
- Ferrer, J.; Seco, A.; Robles, Á. 2007. *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/720871999/23-Tratamientos-Biologicos-de-Aguas-Residuales-Jose-Ferre-Polo>
- Garrido Barrezueta, C.D. 2018. *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas a escala de laboratorio*. Obtenido de Garrido Barrezueta, Carlos Daniel. (2018). Diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales urbanas a escala de laboratorio. Loja-Ecuador. Obtenido de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22531/1/Garrido%20Barrazueta%20c%20Carlos%20Dan>
- Induster Perú. 2024. *Cono de sedimentación Imhoff*. Obtenido de <https://industerperu.com/suministros-de-laboratorio/cono-de-sedimentacion-imhoff-que-es-para-que-sirve-y-como-se-utiliza/>
- Larriva, J.; Arias, S.; & Guartatanga, R. 2019. *Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para el ensayo de aguas residuales mediante pruebas de sedimentación de la asignatura hidrosanitaria de la Universidad del Azuay*. Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9478>
- Li, Y.; Xu, Z.; Zhan, X.; Zhang, T. 2024. Resumen de experimentos y factores que influyen en la velocidad de sedimentación en aguas estancadas. *Water*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4441/16/7/938>
- LibreTexts, E. 2022. *LibreTexts Español*. En línea. Recuperado el 16 de octubre de 2025, de https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Vocacional/Tecnologia_de_Sistemas_de_Agua/Agua_150%3A_Tratamiento_de_Agua_y_Operaciones_de_Planta_I_%28Titiriga%29/01%3A_Cap%C3%ADtulos/1.05%3A_Sedimentaci%C3%B3n

- Metcalf; Eddy. 1995. *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES. TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION*. Vol. II. México, ,McGrawHill Obtenido de https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie
- Oñate, C. V. 2018. *Diseño y construcción de un modelo didactico de un sedimentador tipo lamellar*. Obtenido de <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10372/1/UDLA-ECTIAM-2018-52.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2005. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf
- Ortega, M. 2016. *Estudio hidrodinámico de los parámetros de diseño en sedimentadores de flujo horizontal empleados en pequeñas plantas de tratamiento de residuales*. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Ingeniería Hidráulica. Obtenido de <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/6661>
- Peña, S.; Mayorga, J.; Montoya, R. 2018. Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). *Ciencia e Ingeniería*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606007/507557606007.pdf>
- Romero, J. 2020. *Purificación del agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/3110>
- Schrei, J. A. 2017. *“Compendio de metodologías para el diseño de sedimentadores de flujo horizontal”*. Guatemala. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/server/api/core/bitstreams/dcf85f6-3f80-4a4c-be2b-95349db1df31/content>
- Troconis, A. 2010. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de <https://apps.utel.edu.mx/recursos/files/r161r/w25302w/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf>
- Wastewater & Water. 2024. *Water & Wastewater*. Recuperado el 16 de octubre de 2025, de <https://www.waterandwastewater.com/what-is-sedimentation-in-wastewater-treatment/>
- Yactayo, V. M. 2004. *Sedimentación*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MALDONADO%202004.%20Sedimentaci%C3%B3n.pdf

ANEXOS

ANEXO A



FIGURA 10. *Recolección de muestra, Comunidad Bajos del Pechiche*



FIGURA 11. *Recolección de muestra 2*

ANEXO B



FIGURA 12. *Ensayo de columnas de sedimentación con diferentes concentraciones*

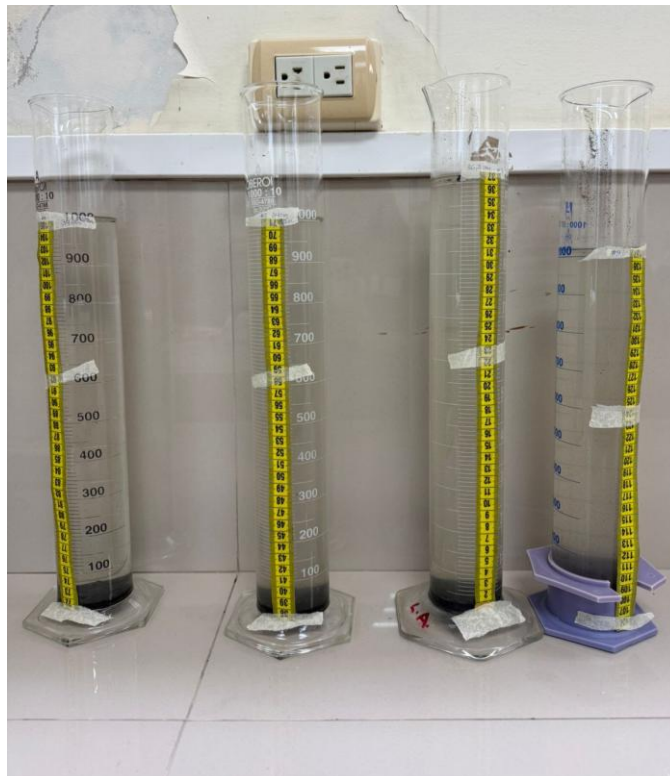


FIGURA 13. *Ensayo culminado de columnas de sedimentación*



FIGURA 14. *Proceso para determinación de peso específico*

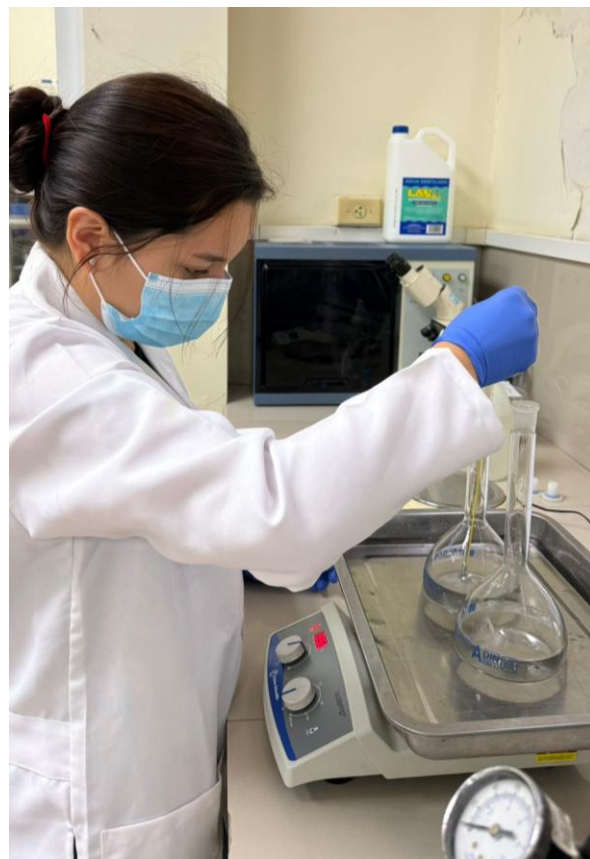


FIGURA 15. *Preparación para el ensayo*

ANEXO C



FIGURA 16. *Ensayo de granulometría*



FIGURA 17. *Muestras retenidas en cada tamiz*

ANEXO D

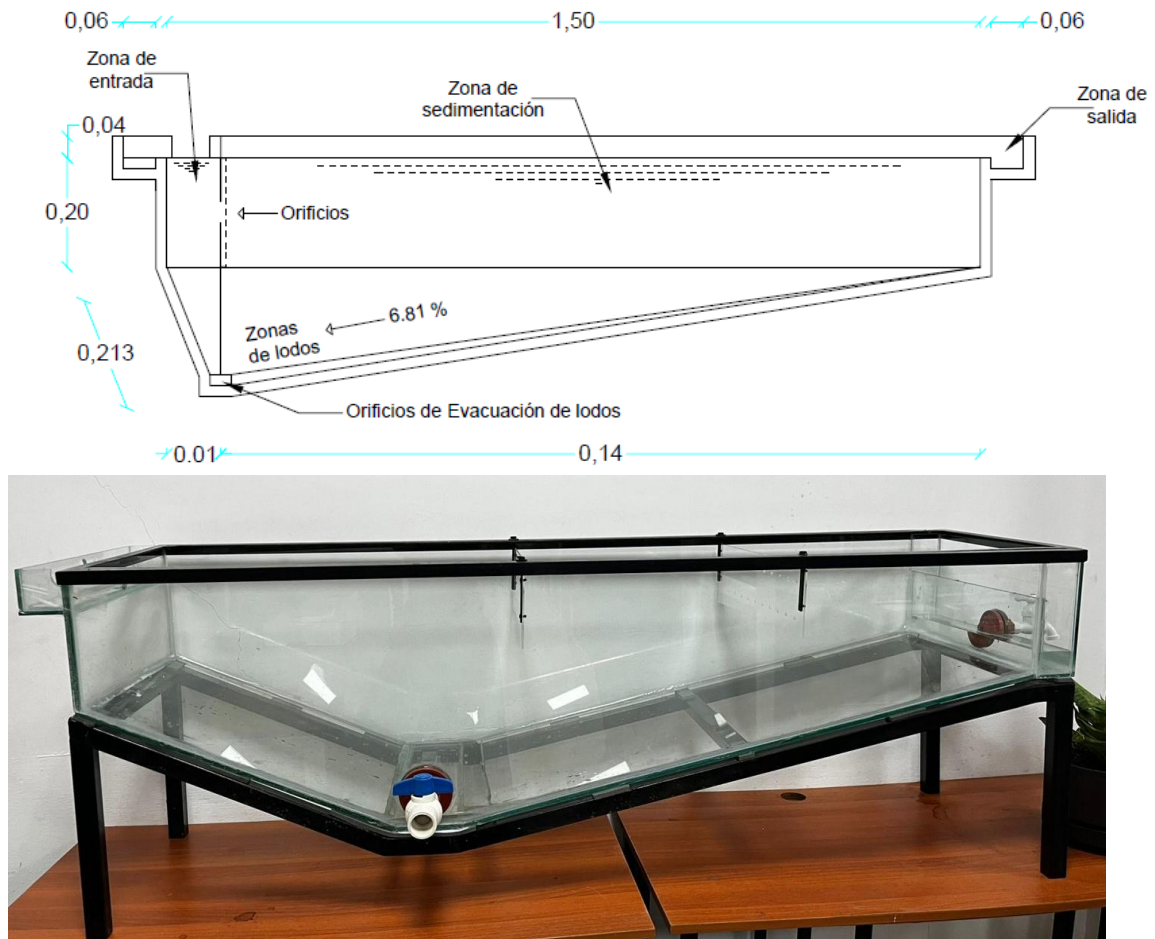


FIGURA 18. Planos del sedimentador

ANEXO E



FIGURA 19. *Manual de uso y mantenimiento del sedimentador*



Descripción

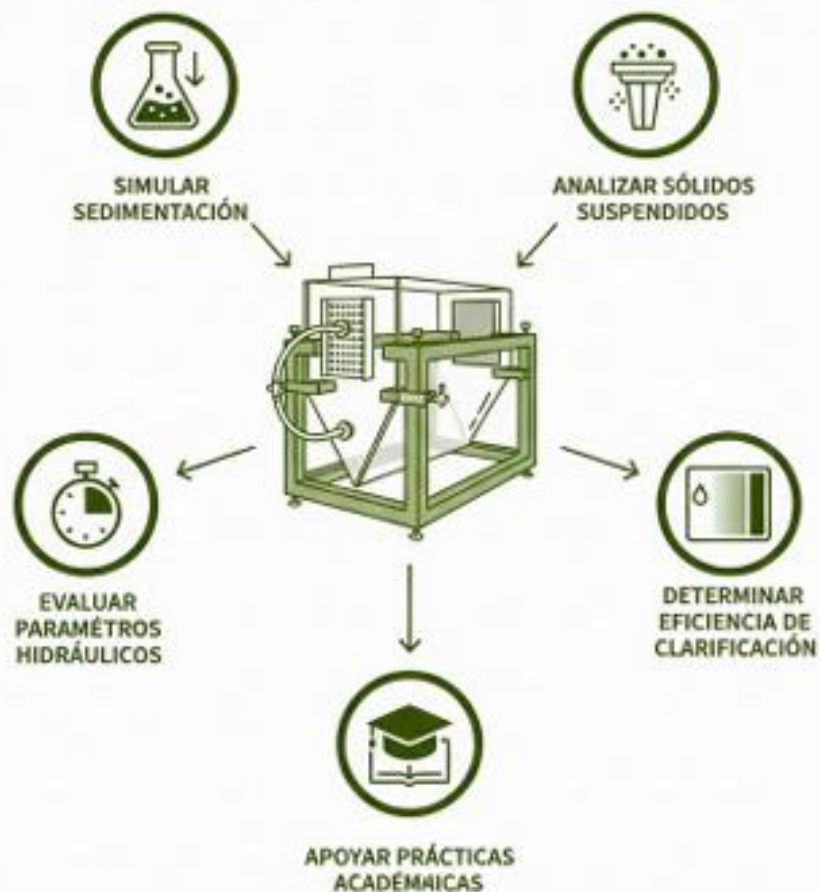
Este manual de uso y mantenimiento tiene la finalidad de servir como una guía técnica y operativa para el manejo adecuado del equipo, garantizando su correcto funcionamiento, seguridad y durabilidad. A través de la descripción de los procedimientos de preparación, operación y mantenimiento, esta guía permite estandarizar las prácticas de uso, minimizar riesgos asociados al manejo del equipo y asegurar la confiabilidad de los resultados experimentales obtenidos durante los ensayos de sedimentación.

Este equipo funciona bajo el principio de sedimentación gravitacional, puesto que la muestra a utilizar ingresa al sedimentador con una velocidad del flujo, las partículas con mayor densidad que el agua se depositan en el fondo, mientras que el agua clarificada continúa su recorrido hasta la salida.

El equipo está diseñado principalmente con una base de metal y el cuerpo en vidrio, lo que permite la visualización directa del proceso, pero requiere un manejo cuidadoso.

Objetivos del equipo

- Simular el proceso de sedimentación en flujo horizontal
- Analizar la remoción de sólidos suspendidos
- Evaluar parámetros hidráulicos y físicos del proceso
- Apoyar prácticas académicas en cursos de tratamientos de aguas



Descripción del equipo

El sedimentador horizontal a escala consta generalmente de:

- Tanque rectangular de vidrio transparente
- Entrada de agua (afluente)
- Zona de sedimentación
- Salida de agua clarificada (efluente)
- Zona de acumulación de lodos (fondo tipo prisma del sedimentador)
- Soporte estructural (base de metal)
- Válvulas y mangueras de entrada y salida.

Consideraciones de seguridad

- Manipular el equipo con cuidado, ya que el vidrio es frágil
- No someter el sedimentador a golpes, vibraciones o cambios bruscos de temperatura
- Utilizar guantes, bata de laboratorio y gafas de seguridad durante la operación y limpieza
- No exceder el caudal recomendado para evitar sobrepresión o derrames
- Hay que asegurar que el equipo esté correctamente apoyado y nivelado.



PREPARACIÓN PREVIA

AL ENSAYO

1 Verificar estado del equipo

- Revisar el equipo y reportar cualquier daño antes de usarlo
- Verificar que el sedimentador esté limpio, seco y sin grietas.
- Colocar el equipo sobre una superficie plana y estable.
- Conectar las mangueras de entrada y salida, verificando que estén en buen estado.
- Asegurar que todas las válvulas estén completamente cerradas antes de iniciar.
- Confirmar que el sistema de drenaje esté libre de obstrucciones.

2 Caracterización inicial de la muestra

Antes de iniciar el ensayo de sedimentación, se deberá realizar la caracterización físico-química básica del afluente preparado en el laboratorio. Para este equipo a escala se establecen los siguientes parámetros de referencia:

- Sólidos Totales (ST): 350–1 200 mg/L
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): 300–600 mg/L
- Sólidos Volátiles (SV): 60–70 % de los SST
- Temperatura del agua de la mezcla: 20–25 °C

3 Preparación y homogeneización de la mezcla

- Preparar la muestra de agua según la práctica experimental.
- Mantener la mezcla en agitación suave y constante durante un tiempo definido (5–10 min) para asegurar la distribución uniforme de los sólidos. (Manual o mecánica)
- Verificar que no exista acumulación excesiva de sólidos antes de iniciar el flujo hacia el sedimentador.

Determinación de la velocidad de paso del agua

1

Determinar previamente si el ensayo se realizará en:

- Régimen continuo, o
- Régimen semicontinuo

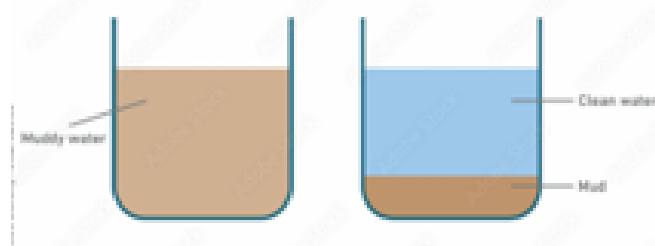
2

Si el proceso es continuo, se debe:

- Definir el caudal de operación (Q) en L/s o m^3/s .
- Calcular la velocidad horizontal del flujo (V) en función del área transversal del sedimentador.
- Registrar este valor como dato fundamental para el análisis hidráulico y la eficiencia del proceso.

3

Si es discontinuo no se calcula velocidad de paso, y el proceso se controla principalmente mediante el tiempo de sedimentación, el volumen del lote y la altura de la columna de agua.



- **Velocidad horizontal promedio (V_h): 0,5–1,5 cm/s**
- **Caudal de operación (Q): 0,5–1,0 L/min**

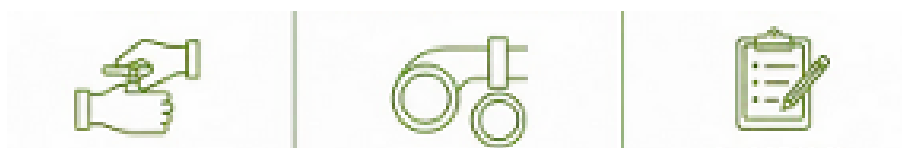
Regulación del caudal de entrada

El control del caudal se realizará mediante:

- Válvula de paso: apertura aproximada del 25–40 %
- Diámetro interno de la manguera de ingreso: $\frac{1}{2}$ pulgada
- La válvula deberá abrirse de forma gradual hasta alcanzar el caudal requerido, verificando visualmente que el flujo dentro del sedimentador sea uniforme.

REGISTRAR:

DIÁMETRO DE LA MANGUERA (MM).
PORCENTAJE O NIVEL DE APERTURA DE LA VÁLVULA.
CAUDAL RESULTANTE.



Uso de pantallas difusoras

Evaluar la necesidad del uso de pantallas difusoras en la entrada del sedimentador.

Su uso es recomendable para:

- Disminuir turbulencias.
- Distribuir uniformemente el flujo.
- Evitar la Re suspensión de sólidos.



DIÁMETRO DE ORIFICIOS: 3–5 MM
SEPARACIÓN ENTRE ORIFICIOS: 2–3 CM

Operación del sedimentador

- Abrir lentamente la válvula de entrada para permitir el ingreso del afluente.
- Ajustar el caudal hasta el valor previamente calculado.
- Verificar que el flujo sea uniforme y sin turbulencias excesivas.
- Permitir que el sistema alcance condiciones estables.
- Observar la sedimentación de partículas en el fondo del tanque.

Registrar:

- Tiempo de operación.
- Altura de la zona de sedimentación.
- Comportamiento del lodo.
- Características visuales del efluente.
- Evitar mover o golpear el equipo durante el ensayo.

Evaluación de la eficiencia

- Tomar una muestra del agua clarificada (efluente) una vez estabilizado el sistema.
- Rotular correctamente la muestra indicando fecha, hora y caudal de operación.

Determinar en el efluente los siguientes parámetros:

- Sólidos Totales (ST).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).
- Sólidos Volátiles (SV).

Calcular la eficiencia de remoción del proceso mediante la comparación entre los valores iniciales y finales.

Finalización del ensayo

Mantenimiento

- ·Vaciar completamente el sedimentador
- ·Retirar los lodos acumulados con cuidado de no esparcir
- ·Lavar el interior con detergentes neutro diluido y agua limpia
- ·Secar con un paño suave o dejar escurrir al aire
- ·No emplear cepillos metálicos ni abrasivos
- ·Enjuagar de manera consecutiva con agua limpia para eliminar residuos químicos

Almacenamiento

- ·Guardar el sedimentador en un lugar seco y seguro
- ·Evitar objetos encima del equipo
- ·Protegerlo con material acolchado si no se usa por largos periodos de tiempo

Limitaciones del equipo

El correcto uso y mantenimiento del sedimentador horizontal a escala garantiza resultados confiables y prolonga la vida útil del equipo, su manejo responsable es fundamental para la seguridad de los usuarios y la calidad de las prácticas de laboratorio, por lo tanto, se recomienda que en cada práctica este equipo sea de:

- ·Uso exclusivo académico y demostrativo
- ·No apto para altas presiones ni caudales elevados
- ·No utilizar con sustancias corrosivas o altas temperaturas

Mantenimiento

- Vaciar completamente el sedimentador



- Retirar los lodos con cuidado



- Lavar con detergente neutro y agua



- Secar con un paño suave



- No utilizar cepillos metálicos ni abrasivos



- Enjuagar con agua limpia



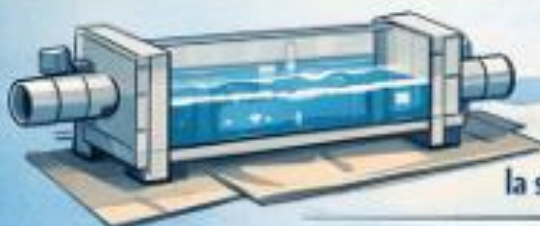
Almacenamiento

- Guardar en un lugar seco y seguro
- Evitar poner objetos encima
- Proteger con material acolchado



Limitaciones del equipo

- Uso exclusivo académico y demostrativo
- No apto para altas presiones ni caudales elevados
- No usar con sustancias corrosivas o altas temperaturas



Uso y mantenimiento responsable garantizan la seguridad y prolongan la vida útil del equipo.

